

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ

"До захисту допущено"
В.о. завідувач кафедри

_____ Юлія ЯМНЕНКО
(підпис) (ініціали, прізвище)

" _____ " _____ 2020р.

Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра

з спеціальністю 171 Електроніка

(код та назва напряму підготовки або спеціальності)

спеціалізація Електронні прилади та пристрої

на тему: Органічні сонячні елементи

Виконав: студент IV курсу, групи ДЕ-61

Тимчик Дмитро
(прізвище, ім'я, по батькові) _____ (підпис)

Керівник: професор, професор, д.т.н. Писаренко Л.Д.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Консультант технічного розділу доцент, доцент, к.т.н. Чадюк В.О.
(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) _____ (підпис)

Рецензент _____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Консультант
по нормоконтролю: доцент, доцент, к.т.н. Чадюк В.О.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань

Студент _____
(підпис)

Київ – 2020 року

№ з/п	Формат	Позначення			Найменування	Кількість аркушів	Примітка
1					Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ			Пояснювальна записка	58	
3	A4	ДП.ДЕ62.09.000 Е1			Схема електрична структурна	1	

**Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”**

Факультет електроніки

(повна назва)

Кафедра електронних пристроїв та систем

(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 171 Електроніка

(шифр і назва)

Спеціалізація Електронні прилади та пристрої

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

Юлія ЯМНЕНКО

(підпис) (ім'я ПРІЗВИЩЕ)

" _____ " _____ 2020 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ**

Тимчик Дмитро Станіславович

(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

1. Тема проєкту Органічні сонячні елементи

Керівник проєкту професор, професор, д.т.н. Писаренко Л.Д.,

(посада, науковий ступень, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ)

затверджені наказом по університету від «25» травня 2020 року № 1196-с

2. Термін подання студентом проєкту 5 червня 2020 р.

3. Вихідні дані до проєкту – розглянути можливість створення сонячного елемента на основі органічних напівпровідників

4. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) Анотація; вступ ; огляд конструкції, принципу роботи сонячних елементів; органічні напівпровідники; основні властивості органічних напівпровідників; органічні сонячні елементи; ефективність органічних сонячних елементів, принцип роботи; конструкція та основні властивості органічних сонячних елементів; фотосинтез, як приклад перетворення сонячної енергії.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)

Структурна схема, 2 плакати.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Ім'я ПРИЗВИЩЕ, посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технічний	доцент, к.т.н. Чадюк В.О.		

7. Датам видачі завдання 04.02.2020

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Строки виконання етапів проєкту	Примітка
1	Огляд науково-технічної літератури по сонячним елементам	04.02.2020-27.02.2020	
2	Дослідження органічних напівпровідників та органічних сонячних елементів	27.02.2020-24.03.2020	
3	Розрахунок параметрів сонячної батареї	03.04.2020-28.04.2020	
4	Розробка схеми	01.05.2020-17.05.2020	
5	Оформлення пояснювальної записки, креслення, підготовка доповіді	17.05.2020-08.06.2020	

Студент

(підпис)

(ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту

(підпис)

(ім'я ПРИЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

В дипломному проєкті було представлено огляд науково технічної літератури по властивостям, принципу роботи, технології виготовлення та конструкції органічних сонячних елементів. Досліджено структуру та основні властивості органічних напівпровідників. Проведено огляд на основні види сонячних батарей.

Показано перспективи використання таких пристроїв у сонячній енергетиці.

Розраховано продуктивність, загальну кількість елементів та площу сонячної батареї для будинку з автономним енергозабезпеченням.

Розроблено структурну схему, що дозволяє зняти спектральну характеристику органічного сонячного елементу

ANNOTATION

The diploma project presented a review of scientific and technical literature on the properties, principle of operation, manufacturing technology and design of organic solar cells. The structure and basic properties of organic semiconductors have been studied. An overview of the main types of solar panels.

Prospects for the use of such devices in solar energy are shown.

The productivity, the total number of elements and the area of the solar battery for a house with autonomous energy supply are calculated.

A block diagram has been developed to remove the spectral characteristics of the organic solar cell.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	Error! Bookmark not defined.
ВСТУП.....	Error! Bookmark not defined.
1 ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ, ПАРАМЕТРІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ.....	Error! Bookmark not defined.
1.1 Кремнієві сонячні елементи.....	Error! Bookmark not defined.
1.2 Сонячні батареї на наночастинках.....	Error! Bookmark not defined.
1.3 Перовскітові сонячні елементи.....	Error! Bookmark not defined.
1.4 Тонкоплівні сонячні елементи.....	Error! Bookmark not defined.
2 ОРГАНІЧНІ НАПІВПРОВІДНИКИ, ЇХНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ В ЕЛЕКТРОНІЦІ	Error! Bookmark not defined.
2.1 Основні властивості органічних напівпровідників	Error! Bookmark not defined.
2.2 Оптичні властивості.....	Error! Bookmark not defined.
2.3 Органічні напівпровідникові пристрої	Error! Bookmark not defined.
Висновок до 2-го розділу.....	Error! Bookmark not defined.
3 ОРГАНІЧНІ СОНЯЧНІ БАТАРЕЇ.....	Error! Bookmark not defined.
3.1 Фотосинтез як приклад перетворення сонячної енергії.....	Error! Bookmark not defined.
3.2 Конструкція та принцип роботи органічного сонячного елемента	Error! Bookmark not defined.
3.3 Технологія виготовлення органічних сонячних елементів	Error! Bookmark not defined.
Висновки до 3-го розділу.....	Error! Bookmark not defined.
4 РОЗРАХУНОК ПРОДУКТИВНОСТІ, КІЛЬКОСТІ МОДУЛІВ ТА ПЛОЩІ СОНЯЧНОЇ БАТАРЕЇ	Error! Bookmark not defined.
4.1 Розрахунок продуктивності сонячного елемента	Error! Bookmark not defined.
4.2 Розрахунок загальної кількості модулів та площі сонячного елемента	Error! Bookmark not defined.
4.3 Розробка структурної схеми для зняття спектральної характеристики.....	Error! Bookmark not defined.
ВИСНОВКИ З ВИКОНАНОЇ РОБОТИ	Error! Bookmark not defined.
СПИСКИ ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	Error! Bookmark not defined.
Додаток А. Електрична структурна схема	
Додаток В. Summary	

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	№	Підпис	Дата			
Розроб.		Тимчик Д.С.				Літ.	Літ.	Арк.
Перевір.		Писаренко Л.Д.						3
Реценз.						Архивів		
Н. Контр.		Чадюк В.О.				59		
Затверд.		Ямненко Ю.С.						
Органічні сонячні елементи						«КПІ ім. Ігоря Сікорського», ФЕЛ, ЕПС, гр. ДЕ-62 «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

LUMO- найнижчої незайнятої молекулярної орбіталі

НОМО- найвищої зайнятої молекулярної орбіталі

ВЗМО- вищі зайняті молекулярні орбіталі

НВМО- нижчі вакантні молекулярні орбіта лі

ККД- коефіцієнт корисної дії

АКБ- акумуляторна батарея

I_{sc} - струм короткого замикання

V_{oc} - напруга холостого ходу

FF - коефіцієнт заповнення

OLED- органічний світо діод

OFET- оргінчний польовий транзистор

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дата		

ВСТУП

У XXI столітті людство зіткнулось з дуже важливою глобальною проблемою: виснаження викопних паливних ресурсів. Також важливим фактором є те, що населення землі стрімко зростає, а це призводить до зростання споживання паливних ресурсів.

Тому єдиним способом доступним людям є перехід на більш екологічно чисті джерела енергії, до яких належать відновлювані, або альтернативні: сонце, вітер, вода. Зважаючи на особливості географічного і кліматичного положення для України розвиток сонячної енергетики є перспективним напрямком енергозбереження.

Сонячна енергія- це дешеве і вічне джерело відновлюваної енергії, яке має перевагу в тому, що відсутнє забруднення навколишнього середовища.

Одним з основних джерел відновлювальної енергії є використання сонячних батарей, що перетворюють сонячні промені в електричну енергію.

Станом на 2019 рік підприємствами випускаються сонячні батареї в більш ніж в 30 країнах світу, не є виключенням і наша країна.

Зараз в основному використовують сонячні батареї, що мають за основу елементи з монокристалічного кремнію або полікристалічного кремнію, при їх виготовленні застосовується багато шкідливих речовин(це викликає значні сумніви екологічності). Їх ефективність складає 20%, а термін дії понад 30 років. Проте їхня вартість достатньо висока, що обумовлено дороговизною їх створення, монтажу та обслуговування, крім того їх не так просто утилізувати, тому що там є важкі метали.

Саме тому останнім часом дослідники все більше і більше досліджують аналоги кремнієвих елементів. Такими елементами є використання органічних полімерів, що перетворюють енергію сонця в електричну енергію.

Вчені дуже велику увагу приділяють підвищенню ефективності та терміну служби органічних сонячних елементів. Ці елементи майже догнали свої кремнієві аналоги(їх ефективність становить 17%), але вони

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	№	Підпис	Дата	5

значно дешевші та завдяки гнучкості можуть наноситися на будь-яку поверхню, крім того для їх виготовлення можна використовувати тільки товари українського походження, що є важливим чинником для економіки України

Отже, можна зробити висновок, що використання органічних сонячних елементів надає можливість частково або повністю замінити невідновлювальні джерела енергії. Ця технологія дозволяє істотно заощадити і значно знизити шкідливий вплив на навколишнє середовище. Саме тому, ця тема є актуальною для дослідження.

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	№	Підпис	Дата	6

1 ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ, ПАРАМЕТРІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ

Сонячний елемент - це пристрій, який за допомогою фотоелектричного ефекту перетворює енергію світла в електричну енергію. Сонячні елементи можна об'єднати в модулі. Звичайний кремнієвий сонячний елемент може створювати напругу холостого ходу приблизно від 0,5 до 0,6 вольт, а при його об'єднанні в сонячну панель він може генерувати велику кількість енергії [1].

Параметри, що характеризують сонячні елементи

Основними параметрами, які використовуються для характеристики продуктивності сонячних елементів, є пік потужності P_{max} , щільність струму короткого замикання J_{sc} , напруга відкритого ланцюга V_{oc} і коефіцієнт заповнення.

Струм короткого замикання I_{sc} - це струм, що протікає через зовнішній ланцюг, коли електроди сонячного елемента закорочені. Струм короткого замикання залежить від потоку фотонів, що падає на сонячний елемент, який визначається спектром падаючого світла. Для знаходження струму замикання використовують формулу:

$$I_{sc} = qG(L_n + L_p),$$

де G -швидкість генерації, L_n та L_p дифузійна довжина електронів та дірок відповідно.

Напруга холостого ходу - це напруга, при якій струм не протікає через зовнішній ланцюг. Це максимальне значення напруги, яке може видавати сонячний елемент. Напруга холостого ходу знаходиться за формулою:

$$V_{oc} = \frac{nkT}{q} \ln\left(\frac{I_L}{I_0} + 1\right),$$

де n -коефіцієнт ідеальності, I_L - світловий струм, I_0 - струм насичення

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	№	Підпис		7

Напруга зсуву - це напруга, при якій щільність темнового струму компенсує щільність фотоструму.

Коефіцієнт заповнення - це відношення максимальної потужності, в якій генерується сонячний елемент і продукт V_{oc} з J_{sc}

$$FF = \frac{V_{MP} I_{MP}}{V_{oc} I_{sc}},$$

де V_{oc} - напруга холостого ходу, I_{sc} - струм короткого замикання, V_{MP} - напруга в точці максимальної потужності, I_{MP} - струм в точці максимальної потужності [2].

Конструкція сонячних елементів

Зазвичай сонячні елементи захищені від навколишнього середовища тонким покриттям зі скла або прозорого пластика та мають площу в декілька квадратних сантиметрів. Оскільки типовий сонячний елемент 10 см × 10 см генерує тільки близько двох ват електричної енергії (від 15 до 20% енергії світла, що падає на їх поверхню), елементи зазвичай об'єднуються послідовно, щоб підвищити напругу або паралельно, щоб збільшити струм. Сонячний або фотоелектричний модуль складається з 36 з'єднаних між собою елементів, ламінованих на скло в алюмінієвій рамі. Один або декілька з цих модулів, у свою чергу, можуть бути об'єднані в одну сонячну батарею. Оснащена стандартними розетками задня частина кожної сонячної батареї, надає вихід для об'єднання з іншими сонячними батареями. Фотоелектрична система може містити безліч сонячних панелей, систему живлення для розміщення різних електричних навантажень, акумуляторних батарей і зовнішньої ланцюга. Вони можуть бути як автономні, так і пов'язані з мережею системи.

Сонячні елементи складаються з декількох шарів: скла, захисного шару і переднього контактного шару. Для забезпечення водонепроникності і ізолювання їх від надлишкового тепла, під ними знаходяться металеві задні контакти, які є ламінованими і мають здатність проводити електрику.

Властивості сонячних елементів

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дата		8

Сонячний елемент у своїй структурі зазвичай використовує напівпровідники. Найчастіше він містить два різних типи напівпровідникових матеріалів: р-тип і n-тип, що призводить до р-n-переходу.

За кількістю р-n-переходів сонячні елементи бувають одноперехідні та багатоперехідні. Одноперехідні у своїй основі мають лише один р-n-перехід (рис. 1.1). Такий елемент генерує енергію тільки у вузькому спектрі сонячного випромінювання.

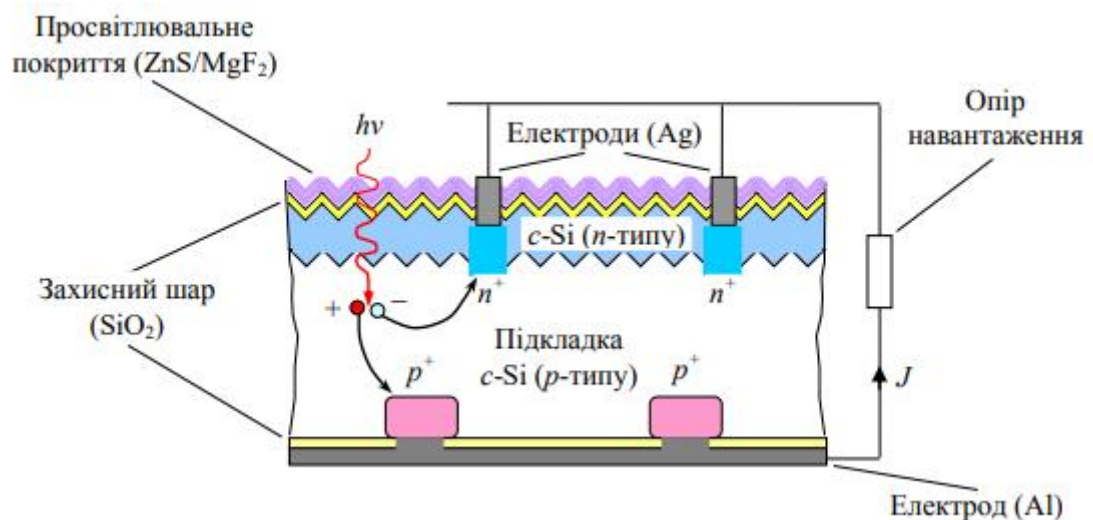


Рис.1.1 Конструкція одноперехідного кремнієвого сонячного елемента з профільованою поверхнею, яка має більшу поглинальну здатність, ніж плоска

Багатоперехідний елемент має декілька переходів, при чому кожен перехід відповідає за свій спектр випромінювання (рис. 1.2).

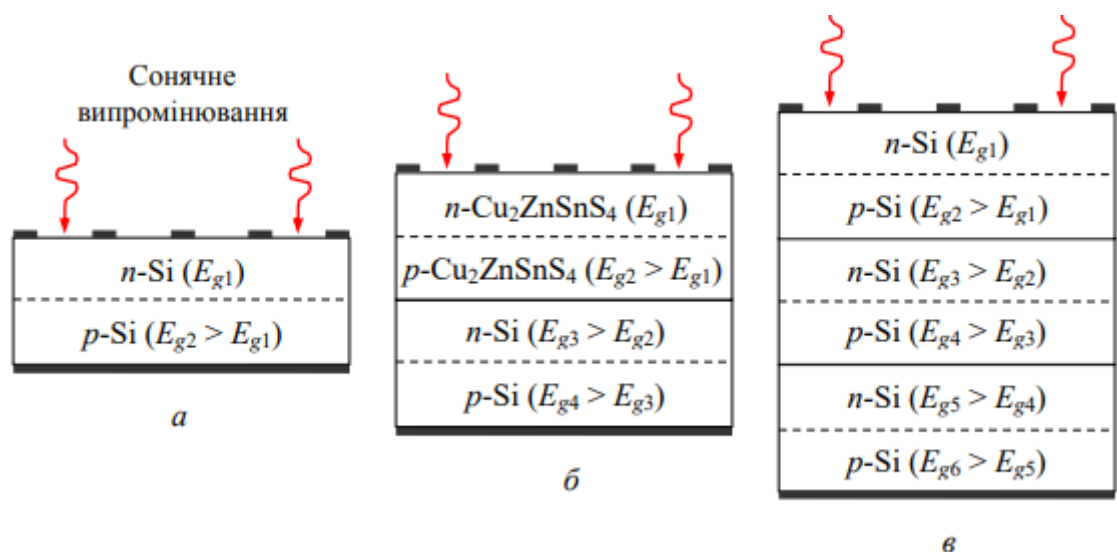


Рис. 1.2 Сонячні елементи з одним (а), двома (б) та трьома (в) р–п-переходами

Світло, що має певну довжину хвилі падає на сонячний елемент, завдяки чому енергія поглинається та просовує електрони в зону провідності, залишаючи дірку у валентній зоні [3].

Це можливо тільки тоді, коли енергія фотона буде більшою за заборонену зону напівпровідника. Після цього носії заряду будуть рухатися до зовнішніх контактів з електричним полем.

Коли світло досягає р-п-переходу, світлові фотони можуть легко увійти в нього через дуже тонкий шар р-типу. Енергії світла у формі фотонів цілком достатньо, щоб створити кілька пар електрон-дірка. Проте падаюче світло порушує умову теплового рівноваги з'єднання. Внаслідок цього електрони з області збіднення можуть перейти до сторони з'єднання n-типу. Таким же чином виснажені дірки можуть перейти до сторони з'єднання р-типу. Вільні електрони та дірки, що перейшли через n-тип та р-тип з'єднання, відповідно не можуть знову перейти через бар'єрний потенціал переходу. Коли концентрація електронів з одного боку та концентрація дірок з іншого боку стають набагато більше, р-п-з'єднання буде вести себе як незначний елемент батареї. На елементі при цьому встановлюється напруга, яка називається фото напругою. Та якщо ми підключимо певне навантаження до переходу, то через нього протече струм, який буде мати невелике значення.

Критерії для матеріалів, які будуть використовуватися в сонячній батареї

1. Ширина забороненої зони від 1eВ до 1,8eВ.
2. Високе оптичне поглинання.
3. Висока електропровідність.

Матеріали сонячних батарей

Найкращий матеріал для сонячних батарей - це кремній.

Максимальна теоретична ефективність перетворення сонячного випромінювання для фотоелемента з одним р-п-переходом, на думку Шоклі і Кейссера, досягається при забороненій зоні 1,34 eВ, в той час як кремній має

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	№	Підпис		10

заборонену зону 1,1 еВ та використовується в понад 90% напівпровідникових сонячних батареях. Кремній доставляється в різних формах:

Кристалічний кремній

Найпоширенішим матеріалом для сонячних батарей є кристалічний кремній, тому що термін служби кристалічних кремнієвих елементів становить понад 25 років без зношування. Його ефективність перетворення енергії до 22%, а це є найкращим показником серед усіх сонячних панелей.

Для збільшення ефективності його часто покривають нітридом кремнія або диоксидом титану, що дозволяє зменшити кількість відбитого світла.

Аморфний кремній

Без кристалічної структури – це аморфний кремній. Його використовують в основному для створення тонкоплівкових сонячних елементах. Напівпровідники виготовляють при використанні кремнію у вигляді дуже тонкої плівки (майже 1мкм) на металеву або скляну раму. Проте такі сонячні панелі мають значно гірший показник ефективності ,що складає приблизно 7% внаслідок того ,що відбувається погіршення його якості при першому впливі сонячних променів.

Арсенід галію

В останні роки всебільшої популярності набуває арсенід галію (GaAs), як напівпровідник сонячних панелей. Це складна суміш галію і миш'яку. Він дуже ефективний як напівпровідник, який забезпечує для невеликої кількості матеріалу високий вихід енергії. Він має заборонену зону 1,49 еВ, цей показник набагато краще, ніж у кремнію.

Проте є певні недоліки :

1)Він більш рідкісний за золото ,що робить його значно дорожчим;

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дата		

2) При виготовленні використовується миш'як, що є дуже отруйною речовиною [4].

Технологія виготовлення сонячних батарей

Для того, щоб виготовити сонячні батареї необхідно провести наступні операції :

- очищення кремнію;
- виготовлення монокристалічного кремнію;
- виготовлення кремнієвих пластин;
- легування;
- розміщення електричних контактів;
- ламінування;
- монтування;
- контроль якості.

Очищення кремнію

Для того, щоб очистити кремній, діоксид кремнію з кварцитового гравію або дробленого кварцу поміщають в електродугову піч. Для виділення кисню застосовується вуглецева дуга.

Для отримання кремнію, очищеного на 99%, застосовують техніку плаваючої зони. Для цього стрижень неочищеного кремнію пропускають через нагріту зону (це роблять декілька разів в одному і тому ж напрямку). За допомогою такої операції всі домішки збираються в одному кінці. Після цього цей кінець обрізають.

Виготовлення монокристалічного кремнію

Сонячні елементи виготовляються з полікристалічних структур, що мають атомну структуру монокристала. Найчастіше для цього використовується метод Чохральського [5]. Для цього спочатку кристал кремнію занурюють в розплавлений полікристалічний кремній. Після цього процесу утворюється циліндричний злиток з кремнію

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дата		12

Виготовлення кремнієвих пластин

Після виготовлення кремнієвих злитків, їх нарізають за допомогою циркулярної пилки. Спочатку отримують круглі пластини, які потім обрізають, для отримання прямокутних або гексагональних пластин.

Прямокутні або гексагональні пластини використовують, тому що вони ідеально підходять для розміщення на сонячному елементі, так як вони стають стик в стик і можуть використати увесь доступний простір. Після цього пластини поліруються, щоб уникнути слідів циркулярної пили.

Легування

Щоб отримати напівпровідник чистий кремній легують(обробляють) фосфором(щоб отримати надлишок електронів) та бором (щоб отримати нестачу електронів).

Розміщення електричних контактів

Для того, щоб з'єднати кожен сонячний елемент з іншим та з приймачем виробленого струму, потрібне розміщення електричних контактів. Контакти обирають дуже тонкими, щоб не блокувати попадання сонячного світла на елемент. Після того, як контакти встановлюють їх запаюють, використовуючи залуджену мідь.

Антивідбиваюче покриття

Оскільки чистий кремній може відображати до 35 % сонячного світла, для уникнення цього, використовують антивідбиваюче покриття. Найчастіше використовують покриття з діоксиду титану і оксиду кремнію. Матеріал для покриття нагрівають до тих пір, поки він не випарується і не проникне в кремній та не конденсується там. У цьому процесі висока напруга збиває молекули з матеріалу, відкладаючи їх на електроді кремнія.

Монтажування

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дата		13

На цьому етапі монтується алюмінієва рама і коробка. Для надійного з'єднання модуля і коробки використовується клей-герметик.

Контроль якості

Контроль якості важливий у виробництві сонячних елементів, тому що невідповідність негативно впливає на загальну ефективність елемента. Знайти способи підвищення ефективності кожного сонячного елемента - основна мета дослідження.

Протягом всього процесу виготовлення постійно контролюються: температура, тиск, швидкість і кількість легуючих домішок. Також проводяться певні заходи для забезпечення захисту від забруднення в повітрі і на робочих поверхнях.

Для того, щоб перевірити якість та стандарти, напівпровідники повинні пройти електричні випробування, де вимірюється показники струму короткого замикання, напруги холостого ходу та максимальної потужності елемента.

Також важливим тестом є реагування сонячних елементів на тепло і холод, на певні вібрації та на потрапляння граду тощо.

Останнім випробуванням є розміщення сонячних батарей там, де вони будуть фактично використовуватися (так зване польове випробування). Це дає можливість досліднику визначити ефективність в умовах навколишнього середовища та терміну служби сонячної батареї [6].

Переваги сонячної батареї

1. Не забруднюють навколишнє середовище.
2. Працюють довго, без обслуговування.
3. Менші витрати на електроенергію.
4. За «Зеленим» тарифом можна отримати прибуток.
5. Не залежить ні від технологічних неполадок електропостачальників, ні від проблем з електропостачанням.
6. Сонячні батареї безшумні.

Недоліки сонячної батареї

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	№	Підпис		14

1. Великі витрати на монтаж сонячних батарей.
2. Мають низьку ефективність у зимовий час, при похмурій туманній погоді.
3. Залежать від клімату місцевості.
4. Не виробляють електроенергію в нічний час.

Перспективи розвитку

У системі теплопостачання сонячна енергетика знайшла широке застосування, бо вона служить для гарячого водопостачання і опалення, що в свою чергу дозволяє зменшити використання вичерпних паливних ресурсів.

У більш розвинених країнах існують відповідні державні програми, що забезпечують сприятливі умови, в тому числі економічні, для її використання і розвитку сонячної енергетики. Так, наприклад, у Німеччині, яка є лідером в ЄС за сумарною потужністю сонячних установок, використання систем сонячного теплопостачання, наприклад для опалення, супроводжується посиленням теплозахисту будинків та зниженням енерговитрат, що забезпечує до 70% енергоспоживання.

Основними споживачами сонячної енергії є Швеція, Данія, Німеччина, Іспанія, Індія, проте більша половина сонячних батарей в світі знаходиться в Китаї.

Також сонячні батареї широко використовується для виробництва електроенергії для віддалених населених пунктів, фермерських господарств, островів, морських і космічних станцій.

За прогнозами науковців використання сонячної енергії може стати одним з основних джерел відновлюваної енергії. В Україні є досить сприятливі умови для використання сонячної енергії, річний енергетичний потенціал сонячної енергії є еквівалентним 6 млн. Це

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дата		

дало б змогу замінити близько 5 млрд. m^3 природного газу, бо кількість сумарної сонячної енергії на $1 m^2$ поверхні, на території України знаходиться в межах від 1070 кВт · год / m^2 в її північній частині до 1400 кВт · год / m^2 на півдні.

1.1 Кремнієві сонячні елементи

Основним компонентом сонячного елемента є кремній. Кремнієві сонячні панелі часто називають панелями 1-го покоління, бо ця технологія набула поширення вже в 1950-х роках.

Типи кремнієвих сонячних елементів :

1. Монокристалічний кремнієвий елемент

Перші доступні сонячні елементи були зроблені з монокристалічного кремнію, бо він є дуже чистою формою кремнію. Для отримання сонячних елементів масу розплавленого кремнію кристалізують, а потім з нього створюють циліндричний злиток з єдиною безперервною структурою кристалічної решітки, розпилявши його на тонкі пластини, полірують і легують для створення необхідного р-n-переходу. Все підключається і запаковується разом з багатьма іншими елементами в сонячну панель, після ламінування і закріплення передніх і задніх металевих контактів елемента. Процес виготовлення монокристалічних кремнієвих елементів дуже ефективний, але повільний і трудомісткий, що робить його більш дорогим, ніж полікристалічні або тонкоплівкові аналоги.

Але монокристалічні елементи служать довше за всі типи - виробники пропонують гарантії до 25 років на ці типи фотоелектричних систем.

2. Полікристалічний кремнієвий елемент

Полікристалічні (або мультикристалічні) елементи містять багато дрібних зерен кристалів, замість єдиної однорідної кристалічної структури. Їх можна виготовити і шляхом простої виплавки кубічного злитка з розплавленого кремнію, розпилявши і упакувавши аналогічно

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	№	Підпис	Дата	16

монокристалічним елементам. Також можна це зробити за допомогою іншого методу(крайового зростання), що включає в себе витягування тонкої стрічки полікристалічного кремнію з маси розплавленого кремнію. Полікристалічні сонячні елементи на відміну від монокристалічних є дешевшою, але менш ефективною альтернативою, представляючи близько 70% світового виробництва фотоелектричних елементів.

Ще одним недоліком є те, що полікристалічний сонячний елемент має нижчу теплостійкість це свідчить про те, що вони не можуть функціонувати так само ефективно при високих температурах [7].

1.2 Сонячні батареї на наночастинках

За допомогою нещодавніх досліджень було синтезовано високоефективні сонячні батареї на основі наночастинок. Вони набагато ефективніше можуть перетворювати сонячну енергію в електричну за їх аналоги. Їх можна широко використовувати для виробництва електроенергії, оскільки процес виготовлення цих сонячних елементів екологічний і дешевий.

Наночастки кремнію посилюють сонячні елементи

Наночастки кремнію мають корисні властивості: активний стан поверхні, низьку об'ємну щільність, а також унікальні фотолюмінісцентні і біосумісні властивості. У результаті ці наночастинки часто включаються в літій-іонні акумулятори, сонячні енергетичні елементи, мікро- і інтегровані напівпровідники і люмінесцентні пристрої відображення. Розмір і мікроструктура наночастинок кремнію, а також їх властивості люмінесценції і квантової ефективності вельми специфічні порівняно зі звичайними кремнієвими сонячними елементами.

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	№	Підпис	Дата	17

Досягнення в нанокремнієвих сонячних елементах

Недавні дослідження показали, що використання резонансних колоїдних наночастинок покращує робочі характеристики галогенідних перовскітних сонячних елементів, отриманих з металоорганічних сполук. Крім того, при включенні в ці сонячні елементи, резонансні металеві наночастинки успішно збільшують поглинання світла і поділ зарядів, що підвищує ефективність застосовуваних сонячних панелей. Нещодавно були застосовані фотострум і коефіцієнт заповнення до сонячних елементів з металоорганічних галогенідів перовскіта, метою уникнення потенційної реактивності металевих наночастинок з галогенідами перовскіта. Завдяки цьому було досліджено, що загальна ефективність сонячних елементів покращилася на 18,8%, тоді як коефіцієнт заповнення, збільшився на 79% [8].

1.3 Перовскітові сонячні елементи

Перовскіти – це кристалічні матеріали, об'єднані формулою ABO_3 та подібністю кристалічної структури до мінералу з формулою титанату кальцію ($CaTiO_3$). Перовскіт $KTaO_3$ використовують в електрооптичних модуляторах світла, а $BaTiO_3$ у п'єзозбуджувачах акустичних коливань. Метил-амонієвий йодид-хлорид та метил-амонієвий йодид свинцю також відносять до перовскітів, що поглинають світло та генерують електронно-діркові пари в органічних сполуках.

Структуру сонячного елемента на основі перовскіту показана на рис. 1.3. Інвертованим або з тильним освітленням (через підкладку) називається елемент в якому нанесення шарів структури відбувається у напрямку від скляної підкладки до катоду. На підкладку наносять прозорий анод з диоксиду олова, а на нього блокуючий шар TiO_2 . Після цього створюють тонкий шар перовскітового поглинача ($CH_3NH_3PbI_3$). Потім наносять шар матеріалу, який переносить дірки, що розташовується вище(золотий катод). Транспондером дірок називають шар напівпровідника, який переносить до

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дата		18

анода дірки, а до катода електрони – транспондер електронів. На даний момент, для транспондера дірок використовують органічний матеріал *spiro-OMeTAD*, проте він надто дорогий, тому доцільніше використовувати більш дешеві неорганічні аналоги(наприклад йодид міді (CuI)) [3].



Рис. 1.3 Структура перовскітового елементу

Перевскітові матеріали мають відмінне поглинання світла, рухливість і термін служби, це показує, що ці елементи мають велику ефективність. Також важливим параметром є те, що ці елементи дешеві, що дає змогу їх широко використовувати у виробництві. Проте для досягнення успіху потрібно немало зусиль залучити для уникнення проблем зі стабільністю і сумісністю з навколишнім середовищем. Основні властивості матеріалів також викликали інтерес до використання гібридних перовскітним напівпровідників в ширшому спектрі енергетичних застосувань, які охоплюють традиційні електронні та оптичні системи.

1.4 Тонкоплівні сонячні елементи

Тонкоплівкова сонячна панель складається з збірки тонкоплівкових сонячних елементів. Кожен тонкоплівковий сонячний елемент складається з декількох шарів фотопоглинаючих матеріалів

(шари можуть бути в 300-350 разів менш, за стандартні кремнієві панелі).

У залежності від типу використовуваного напівпровідника, існує три типи тонкоплівкових сонячних елементів: аморфний кремній (a-Si), телурид кадмію (CdTe) і деселенід міді-індію-галію (CIGS).

Урізаною версією традиційної кремнієвої пластини в основному є **аморфний кремній**. Він широко використовується в електроніці для створення сонячних елементів.

Сплав аморфного кремнію (a-Si) - недорогий матеріал для сонячних елементів. Елементи на основі аморфного кремнію дуже ефективно поглинають сонячне світло, і щоб створити сонячний елемент потрібна тільки дуже тонка (<500 нм) плівка. Саме тому, вартість матеріалу для виготовлення сонячних елементів дуже низька. Нові дослідження цього матеріалу проводяться для зниження виробничих витрат, що дозволить цій технології широко використовуватися для виробництва сонячних елементів і панелей для різних областей застосування

Селенід міді індію-галію (CIGS) – це тип напівпровідника, за допомогою якого виготовляють тонкоплівковні сонячні елементи. Вони досягли 21,7% ефективності в лабораторних умовах і 18,7% ефективності в польових умовах і це робить їх лідером серед інших матеріалів, що застосовуються в тонкоплівкових технологіях. Проте вони надто дорогі, тому вони широко не використовуються у виробництві.

Сонячні елементи на основі **телуриду кадмію (CdTe)** відрізняються від решти напівпровідників тим, що в них використовується менша кількість тонкої плівки, яка необхідна для перетворення поглинутої світлової енергії в електрони. Вони менш ефективні, ніж їх кремнієві аналоги, проте вони дешевші у виготовленні, а їх потужність може бути набагато більшою. Хоча технологія використання тонких плівок не набула великої популярності, очікується, що застосування цього елементу буде тільки зростати, так, як вони можуть забезпечити економію коштів за рахунок масштабу [9].

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дата		

Висновок до 1-го розділу

У першому розділі було проведено огляд конструкцій, властивостей, технологій виготовлення та перспектив розвитку сонячних батарей.

Традиційними матеріалами для сонячних елементи кристалічний та аморфний кремній, арсенід галію. Для покращення роботи сонячної батареї використовують елементи на основі перовскіту, тонкоплівні та сонячні елементи на наночастинках.

Сонячні елементи складаються з декількох шарів: скла, захисного шару і переднього контактного шару

Виготовлення сонячних елементів доволі складний процес, який складається з наступних етапів: очищення кремнію, виготовлення монокристалічного кремнію, виготовлення кремнієвих пластин, легування, розміщення електричних контактів, ламінування, монтування та контроль якості.

Сонячні батареї мають свої переваги та недоліки. Вони не забруднюють навколишнє середовище, безшумні та можуть працювати довгий час без обслуговування. До недоліків відносяться великі витрати на монтаж, вони мають низьку ефективність у зимовий час, при похмурій туманній погоді та не працюють у нічний час.

За прогнозами науковців використання сонячної енергії може стати одним з основних джерел відновлюваної енергії

Сучасні дослідження сонячних батарей в основному спрямовані на збільшення ефективності та зменшення вартості сонячних елементів. Нові технології включають розробку більш дешевих альтернатив дорогих елементів на основі кремнію.

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дата		

2 ОРГАНІЧНІ НАПІВПРОВІДНИКИ, ЇХНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ В ЕЛЕКТРОНІЦІ

Розташування елементів для напівпровідників, як елементарних так і кристалічних, породжує делокалізовані електронні стани та структури смуг в решітках. Створення високоефективних матеріалів, є надто дорогим процесом, так як якість структури смуги є дуже чутливою до дефектів. Основною проблемою, що виникла при створенні фотоелектричних батарей та мікросхем – висока вартість кристалічного кремнію. Ще більші витрати пов'язані з люмінесцентними напівпровідниковими кристалами для світлодіодів.

Альтернативою є використання матеріалів, у яких напівпровідна поведінка є невід'ємною властивістю ґратки, а не новою властивістю решітки. Молекулярні напівпровідники – це один з таких класів матеріалу, завдяки якому синтетичні молекули з електронною структурою використовуються для формування активного шару оптоелектронного пристрою. Електронні властивості молекулярних напівпровідників не залежать від конкретної кристалічної структури. Це робить їх більш стійкими до домішок і, таким чином, надає набагато більше можливості для переробки матеріалів з більш низькою вартістю. Також важливим аспектом є пропускна здатність електронної та фізичної структури, що розглядається як проблема молекулярного дизайну, а не кристалічного складу, це параметр надає широкий спектр використання їх в галузі синтетичної хімії. Зокрема, надзвичайна гнучкість органічної (на основі вуглецю) хімії призвела до домінування органічних молекул у молекулярних напівпровідникових технологіях [10].

Органічний напівпровідник – це матеріал, який проявляє напівпровідникові властивості. У залежності від матеріалу виникає напівпровідність у одиночних молекул, коротких ланцюгах та довгих

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	№	Підпис	Дата	22

полімерних ланцюгах. Малі молекулярні напівпровідники включають пентацен, рубрен та антрацен, а також більші молекули, такі як фулерени та похідні фулерену.

Виготовлення таких пристроїв має ряд переваг перед звичайними напівпровідниковими приладами на основі кремнію. Більшість органічних матеріалів набагато дешевші в виготовленні, ніж неорганічні провідники на основі кремнію. Крім того для органічних матеріалів набагато менший або взагалі відсутній крок плавлення, який необхідний для досягнення високих показників, що відбувається при високих температурах(щонайменше 500°C для кремнію). За допомогою низької температури плавлення, ми отримуємо гнучку підкладку для органічних пристроїв.

2.1 Основні властивості органічних напівпровідників

Зв'язки в органічних напівпровідниках принципово відрізняються від неорганічних аналогів. Органічні молекулярні кристали - це тверді тіла, які пов'язані з законом Ван-дер-Ваальса, що має на увазі значно слабший міжмолекулярний зв'язок в порівнянні з ковалентно зв'язаними напівпровідниками, такими як Si або GaAs. Наслідком цього є занижена твердість або набагато нижча температура плавлення, що проявляються в механічних та термодинамічних властивостях .

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	№	Підпис	Дата	23

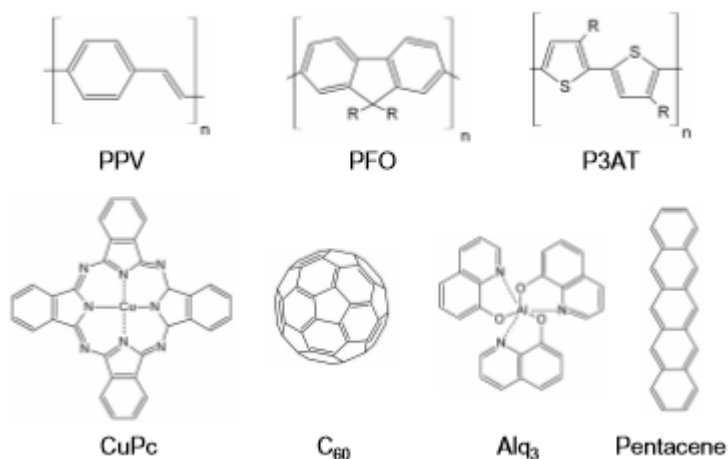


Рис. 2.1 Молекулярна структура прототипів органічних напівпровідників:

PPV- полі (п-феніленвінілен); PFO- поліфлуорен; P3AT- полі (3-алкилтиофен); Alq₃- три (8-гідроксихінолін) алюміній; фулерен- C₆₀; CuPc- Cu-фталоціанін; Пентацен.

Прямим впливом на оптичні властивості та на транспортування носіїв заряду є делокалізація електронних хвильових функцій. Ситуація з полімерами дещо відрізняється, оскільки морфологія полімерних ланцюгів може призвести до поліпшення механічних властивостей. Не дивлячись на це, електронна взаємодія між сусідніми ланцюгами досить слабка в органічних напівпровідниках [11].

2.2 Оптичні властивості

Спектри оптичного поглинання та люмінесценції в органічних молекулярних твердих тілах схожі зі спектрами в газовій або в розчинній фазі, через те що вони мають слабку електронну делокалізацію. Зокрема, внутрішньо молекулярні коливання відіграють важливу роль у спектрах твердого тіла. Саме тому, термін "орієнтований газ" іноді використовується для молекулярних кристалів. Однак, твердотільні спектри можуть сильно відрізнятися при виборі сили генератора та енергетичного положення. Окрім цього, завдяки використанню кристалічної структури можна виявити виражену анізотропію. Крім того, неупорядковані органічні тверді речовини зазвичай демонструють значне спектральне розширення.

Органічні напівпровідники мають дві важливі особливості порівняно з їх неорганічними аналогами. Перше - наявність чітко визначених спінових станів (синглетних і триплетних), як у ізольованих молекулах (рис. 2.2). Зазвичай основним станом є синглетним станом (S_0) і поглинання фотона призводить до першого збудженого синглетного стану (S_1). Час життя стану S_1 знаходиться в інтервалі 1–10 нс, це призводить до швидкого переходу назад до основного стану S_0 за допомогою флуоресценції або нерадіаційних переходів. Існує невелика ймовірність переходу до стану триплетів (T_1) у збудженому синглетному стані, з якого енергія збудження може вивільнитися. Проте, міжсистемне схрещування є доволі слабким процесом, триплетні терміни життя знаходяться в мілісекундних межах для чистих вуглеводнів, а радіаційний розпад, використовуючи фосфоресценцію, не спостерігається при кімнатній температурі. За допомогою цього встановлюється верхня межа квантової ефективності електролюмінесценції, так як більшість збуджених станів (близько 75%), що утворюються за допомогою рекомбінації електронів та дірок, які перебувають у триплетному стані. Час життя триплетів може бути коротшим у молекулах, які містять важкі атоми, такі як Pt або Ir. Друга не менш важлива відмінність полягає у тому, що оптичні збудження ("екситони") локалізуються в основному на одній молекулі і через це вони мають значну енергію зв'язку. Щоб утворилась пара незалежних носіїв позитивних та негативних зарядів ця енергія зв'язку повинна бути подолана.

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дата		25

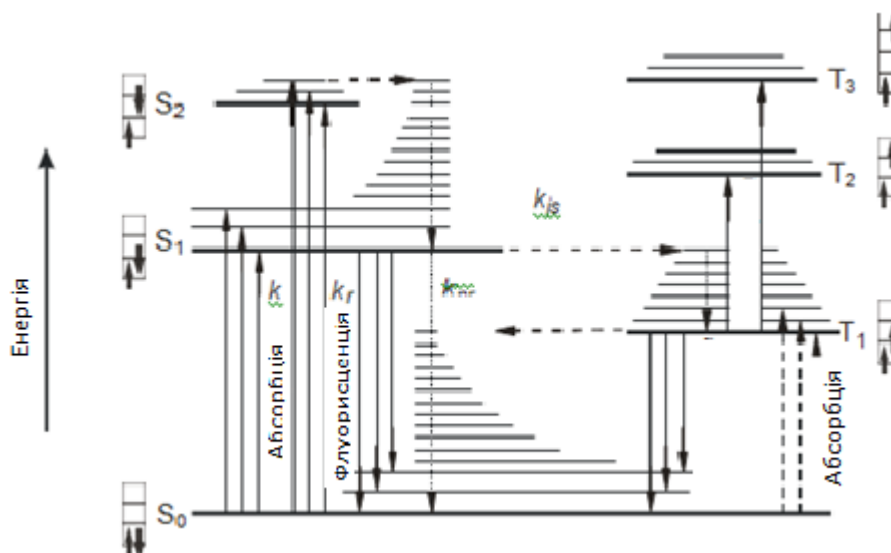


Рис. 2.2 Схема енергетичного рівня органічної молекули (зліва: синглетний колектор, праворуч: триплетний колектор). Стрілки суцільними лініями вказують на радіаційні переходи, ті, що мають зламані лінії, що не є радіаційними [11].

2.3 Органічні напівпровідникові пристрої

В органічних напівпровідниках на макроскопічному рівні струм, що тече через матеріал задається щільністю носія заряду n і швидкістю дрейфу носія v , де в свою чергу дрейф носія заряду може бути виражений рухливістю μ та електричним полем F :

$$j = env = en\mu F$$

Оскільки щільність носія і рухливість можуть залежати від прикладеного поля, в органічних напівпровідниках немає лінійної залежності між j та F . Використовуючи це рівняння можна зробити висновок, що крім поля, параметри n та μ визначають величину струму.

Як вже було сказано вище, рухливість сильно залежить від ступеня впорядкованості та чистоти в органічних напівпровідниках, а отже, значною мірою від умов підготовки та вирощування. У молекулярних кристалах це значення може досягати $1\text{--}10 \frac{\text{см}^2}{\text{В}\cdot\text{с}}$, але значення аморфних матеріалів $10^{-5} \frac{\text{см}^2}{\text{В}\cdot\text{с}}$ також не є незвичайними.

Другим важливим параметром є щільність носія заряду n . Щільність носія в органічному напівпровіднику з енергетичною зоною E_g та ефективної щільністю станів N_0 знаходиться за формулою:

$$n_i = N_0 \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right)$$

Якщо органічний напівпровідник використовується без домішок, то він має надто низьку внутрішню щільність. Для подолання проблем, що виникають внаслідок цього використовуються наступні пристрої :

1. Нагнітання носіїв заряду від контактів - це процес, який по суті керує роботою пристрою в органічних світлодіодах (OLED). Для використання цього методу потрібен збалансований потік носіїв заряду, тобто слід використати низькі енергетичні бар'єри на метало-органічні інтерфейси, щоб ввести однакову кількість електронів та дірок. Таким чином, енергетична структура відіграє дуже важливу роль для досягнення ефективних OLED .

2. Пристрій, що використовує фотогенерацію носіїв. Застосування цих провідників, стикається з проблемою надто великої енергії екситону, яка забороняє її ефективну дисоціацію. Цього можна уникнути, скориставшись фотоіндукованою передачею заряду між донором електронів та фулереном як акцептором. Незважаючи на досягнутий прогрес, все ще виникають проблеми досягти достатнього часу життя в умовах навколишнього середовища або наявності матеріалів із низькосмуговою щільністю для кращого використання сонячного спектру.

3. Органічні польові транзистори - це пристрої, в яких щільність носія заряду в каналі між джерелом і контактами може управлятися прикладеною напругою на затворі через тонкий діелектрик .

Струм у лінійній області:

$$I_d = \frac{w}{L} C_i \mu (V_g - V_T) V_d$$

Струм в режимі насичення:

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дата		27

$$I_d = \frac{w}{2L} C_i \mu (V_g - V_T)^2,$$

де $\frac{w}{L}$ - співвідношення між шириною каналу і довжиною, C_i -питома ємність ізолятора і V_T -порогова напруга.

Враховуючи це, можна зробити висновок, що продуктивність польових транзисторів можна відрегулювати за допомогою довжини каналу L . Проте рухливість μ також повинна бути високою, щоб увімкнути комутацію на частотах вище 100 кГц. Для цього потрібні матеріали та методи для вирощування високо упорядкованих органічних напівпровідникових плівок [11].

Використання органічних напівпровідників в електроніці

Органічний світлодіод (OLED) є найбільш відомим компонентом, який належить до групи органічної електроніки. Дисплеї на основі OLED встановлюються на мобільних пристроях вже кілька років; починаючи від одноколірних дисплеїв низької роздільної здатності в автомобільних радіо та MP3-програвачів до дисплеїв високої роздільної здатності в смартфонах і планшетах.

Усі пристрої OLED, що використовують органічну структуру, мають переваги над іншими приладами: вони легкі, тонкі, на гнучких підкладках. Дисплеї мають підвищену енергоефективність, контраст між глибокими чорними та яскравими кольорами та лампами з відмінним кольоровим відтворенням

Робота над органічними сонячними елементами (OSC) поки що не прогресувала. ККД все ще трохи нижчий порівняно з неорганічними напівпровідниками. Проте ці елементи мають низьку вартість та такі властивості, як гнучкість, прозорість та вільний вибір кольорів.

На відміну від органічних світлодіодів, органічні сонячні елементи лише починають проникати в наше життя. За допомогою гнучкості та

легкості підкладок прилади, на основі органічних матеріалів, можуть інтегруватися в конструкції ноутбуків та мобільних телефонів. Завдяки можливості виготовлення напівпрозорих органічних матеріалів, ці компоненти також можуть використовуватися в будівництві, як архітектурні елементи на фасадах чи вікнах.

На додаток до оптоелектронних застосувань, органічні напівпровідники можуть також використовуватися при обробці інформації. Такі програми, що належать до класу електроніки великої площі або органічних напівпровідникових компонентів, швидко зросли в останні роки. Наприклад, транзистори з органічним польовим ефектом (OFET) сьогодні можна використовувати і в промисловості. Що стосується найважливіших параметрів продуктивності, таких як частота відсічення та коефіцієнт ввімкнення/вимкнення, ці компоненти вже можуть конкурувати з транзисторами на основі аморфного кремнію.

Пристрої на основі OFET розглядаються як перспективна технологія для нанесення активних елементів на великих площах [12].

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	№	Підпис	Дата	29

Висновок до 2-го розділу

У другому розділі було розглянуто органічні напівпровідники їх властивості та перспективи розвитку.

Органічні напівпровідники виготовляють на основі пентацену, рубрену та антрацену, а також більших молекул, таких як фулерени та похідні фулерену.

Виготовлення пристроїв на основі органічних матеріалів має ряд переваг: набагато дешевші у виготовленні, ніж неорганічні провідники на основі кремнію, мають гнучку структуру, який дозволяє розміщувати ці елементи на будь-якій поверхні. Крім того для органічних матеріалів набагато менший або взагалі відсутній крок плавлення, що необхідний для досягнення високих показників, що відбувається при високих температурах.

Органічні напівпровідники мають дві важливі особливості порівняно з їх неорганічними аналогами: наявність чітко визначених спінових станів (синглетних і триплетних); оптичні збудження ("екситони") локалізуються в основному на одній молекулі і через це вони мають значну енергію зв'язку.

Органічні напівпровідники широко застосовуються в електроніці. Органічний світлодіод (OLED) є найбільш відомим компонентом. Пристрої OLED мають ряд переваг: вони легкі, тонкі, на гнучких підкладках. На відміну від органічних світлодіодів, органічні сонячні елементи лише починають проникати в наше життя. Науковці активно досліджують ці елементи, так як, гнучкість та дешевизна цих матеріалів дозволять сонячній енергетиці вийти на новий рівень та масштабувати виготовлення органічних сонячних елементів.

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	№	Підпис	Дата	

3 ОРГАНІНЧІ СОНЯЧНІ БАТАРЕЇ

В якості напівпровідника в органічному сонячному елементі для виробництва електроенергії від сонця використовуються матеріали на основі вуглецю замість кремнію.

Органічні елементи – це нова технологія, якій потрібно буде пройти довгий шлях, перш ніж вона зможе зрівнятися з ефективністю сонячних елементів на основі кремнію. Однак, може пройти зовсім небагато часу і ця технологія буде широко застосовуватися у виробництві сонячної енергії, бо органічні елементи дешеві у виготовленні і фізично універсальні [13].

Основним параметром для органічних сонячних елементів є використання оптичного спектру для отримання електроенергії. Крім того, важливим фактором є те, щоб електрони вільної провідності, які генеруються світлом, не одразу з'єднувалися з атомами. Електричний опір також повинен бути максимально низьким, для того щоб значна частина електроенергії, що виробляється, не перетворювалася в тепло. Щоб на інтерфейсі не було великих втрат струму, органічний напівпровідник має відповідати з'єднанням. Крім того, матеріал також повинен мати тривалий термін служби. На практиці ці параметри важко узгодити між собою, і тому необхідні компроміси: з одного боку, якомога більше світла повинно поглинатися, але з іншого боку, вуглецеві сполуки руйнуються при поглинанні особливо високоенергетичного ультрафіолетового світла, і це призводить до швидкого розкладання матеріалу.

Матеріали, що використовуються в органічних сонячних елементах

Основною відмінністю кремнієвих сонячних елементів від органічних сонячних елементів є напівпровідниковий матеріал. Кремнієві елементи використовують кристалічний кремній, в той час

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дата		31

як органічні сполуки працюють на основі вуглецю, що наносяться тонким шаром на синтетичну основу. Так як органічні елементи виготовляються на основі чорнил це призводить до створення гнучкої сонячної панелі, яка може бути встановлена на стінах або в вигляді вікон, тощо [13].

В основному органічні сонячні елементи в своїй структурі мають молекули, що нагадують барвники, такі як фталоціаніни або поліциклічні барвники. Ці молекули мають сильне поглинання в діапазоні довжин хвиль видимого сонячного світла. Вони дешеві, що надає змогу широкомасштабного використання у виробництві легких та гнучкими модулів. Важливим фактором для них є подовження терміну придатності сонячних елементів.

Відомі три типи органічних матеріалів для сонячних елементів:

- напівпровідниковий матеріал з малих молекул (низькомолекулярні (НМ) сонячні елементи) ;
- напівпровідниковий матеріал з полімерів (полімерні сонячні елементи);
- сенсibilізований барвником сонячний елемент (або елементом Гретцеля).

Ефективність органічних сонячних елементів

У масовому виробництві ефективність органічних сонячних елементів сьогодні становить менше 15%, в основному 10-12%. Науковці у своїх дослідженнях перевищили ефективність в 15%, проте ця технологія дуже складна у виробництві, тому вона не досягла широко розповсюдження. Важко передбачити, як будуть розвиватися сонячні елементи у найближчі кілька років. Звичайні сонячні елементи на основі кремнію, мають ефективність близько 20% та з фізичних причин вони використовують лише близько 30 % сонячного світла, що обмежує можливу ефективність сонячного елемента. Органічні напівпровідники виготовляють тонкими шарами, тому багат шарові сонячні батареї виготовити набагато простіше.

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дата		

Основними факторами, які сприяють підвищенню ефективності органічних сонячних елементів є:

1. Сенсibilізація донор-акцептор

Молекула, що віддає електрон (Д), і молекула, що приймає електрон (А), для якої енергетичне співвідношення найвищої зайнятої молекулярної орбіталі (НОМО) і найнижчої незайнятої молекулярної орбіталі (LUMO) об'єднуються в контакт або змішуються. Внаслідок того, що збудження електроном (акцептор) молекули порушується, електрони з рівня НОМО, що віддають електрон (Д), переходять на рівень НОМО, що приймає електрон (А), внаслідок чого молекула А заряджається негативно (A^-), а молекула Д заряджається позитивно (D^+) (рис. 3.1в).

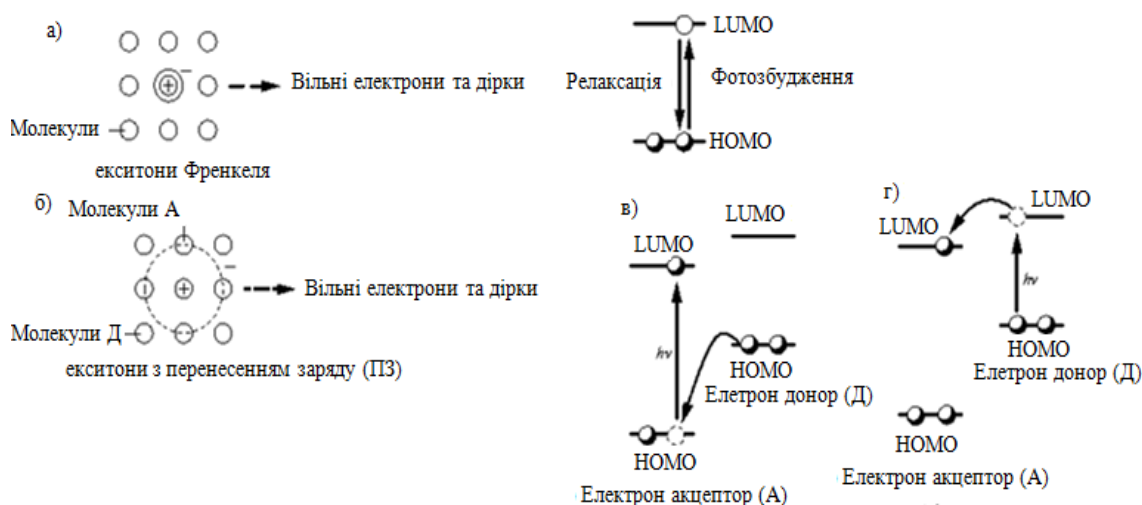


Рис. 3.1 Генерація носіїв в органічних напівпровідниках.

а) тверді частинки однієї молекули; б) сенсibilізація донорів (Д) / акцепторів (А) для генерації носіїв шляхом змішування двох видів органічних напівпровідникових молекул. Ефективна генерація вільних носіїв з екситона з перенесенням заряду (ПЗ); в) фотоіндукованої перенесення електрона від ВЗМО донорної молекули (Д) до ВЗМО акцепторної молекули (А); г) фотоіндукованої перенесення електрона від LUMO молекули донора (Д) до LUMO молекули акцептора (А).

Коли молекула (Д), що віддає електрон, збуджується, то відбувається перенесення електронів з рівня LUMO, що віддає електрон (Д), до рівня LUMO, що приймає електрон (А), внаслідок чого молекули А і Д заряджаються негативно (A^-) і позитивно (D^+) відповідно (рис. 3.1г).

Отримані стани, перенесені зарядом ($D^+ + A^-$), однакові незалежно від збудження молекул (А) і (Д). Таким чином, А за рахунок фотоіндукованого перенесення електронів утворюється КТ-екситон, в якому позитивні та негативні заряди розділяються на молекули Д і А (рис. 3.1б). Завдяки тепловій енергії при кімнатній температурі цей КТ-екситон може дисоціювати вільний електрон і дірку [14].

2. Використання змішаних з'єднань

Важливого значення для полімерних органічних сонячних батарей набули змішані з'єднання (їх ще називають об'ємними гетеропереходами).

Для подолання проблеми змішаних з'єднань донори і акцептори, виготовляли за допомогою певних методик кодування органічних сонячних елементів з невеликими молекулами (рис. 3.2а) [15]. Тобто, якщо це розглядати на молекулярному рівні, то існують контакти молекули донор-акцептора, які діють на місця генерації фотоносіїв, завдяки сенсibilізації донора-акцептора в основній частині шару, що наноситься певним кодом.

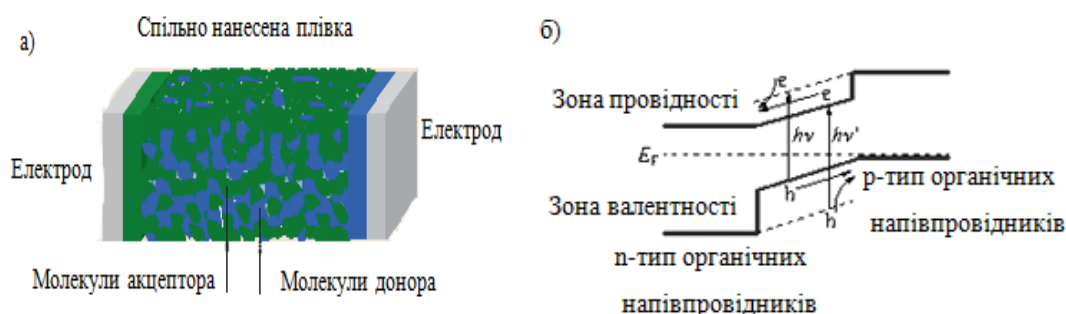


Рис. 3.2 а) елемент з малими молекулами, що складається зі змішаних контактів в органічному напівпровіднику, що містить як донорні, так і акцепторні молекули; б) енергетична структура змішаного переходу в решітці з малою молекулою

Пористий TiO_2 в сенсibilізованих барвником сонячних елементах, в основному такий же як змішані з'єднання. Все падаюче сонячне світло може

поглинатися в надзвичайно тонких активних шарах, пропускаючи світло через величезну кількість гетероструктур.

На рисунку 3.2б показана енергетична структура змішаного переходу в осередку з малої молекулою. Фотогенеровані дірки в акцепторних молекулах переносяться з вищих зайнятих молекулярних орбіталей (ВЗМО) акцепторної молекули в донорну молекулу, фотогенеровані електрони в донорних

молекулах переносяться з нижчих вакантних молекулярних орбіталей (НВМО) донорної молекули в таку акцепторну молекулу. Генерації фотоструму сприяє ця сенсibiliзація Д - А. В результаті того, що позитивні і негативні заряди від іонізованих донорів і акцепторів компенсуються один одним, кодований шар поводить як власний напівпровідник.

3. Формування маршруту в органічних елементах

Вирішальне значення для отримання значної частини фотогенерованих зарядів у зовнішньому ланцюгу, є управління наноструктурою плівок, що піддаються кодуванню (тобто формування маршруту для електронів і дірок). Коли два види органічних напівпровідників, які виконують функції донорних і акцепторних шарів, змішуються, вилучення фотогенерованих дірок і електронів стає проблематичним, так як вони будуть переміщатися тільки через електронодонорні молекули (Д) і електроакцепторні молекули (А):

1. Коли два види органічних молекул змішуються методом кодування при кімнатній температурі, плівка з кодованим покриттям зазвичай має аморфну молекулярно-змішану структуру (рис. 3.2а) – це є молекулярна суміш. За рахунок того, що існує мало шляхів для транспорту електронів і дірок, тільки невелика кількість носіїв може бути вилученою.

2. Фазово-розділена структура. Маршрути для електронів і дірок виникають завдяки самозбору, при збереженні молекулярних контактів Д - А в обсязі органічної плівки (рис. 3.3а) [16].

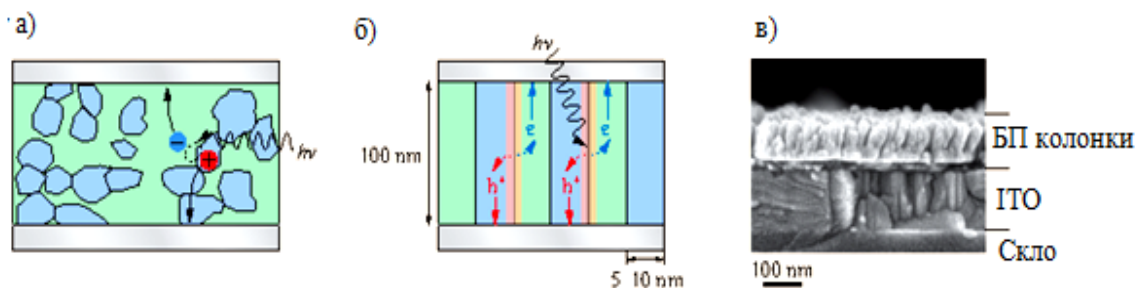


Рис. 3.3 а) фазово-розділена структура ;б) вертикальна свєрхрешєтєчєна структура; в) вєзємєпєв'язєна структура круглих колонок кристалїчного бензопорфїрина (БП) дїаметром близько 20 нм, що стоять майже вертикально, використовуваних в високоефективних клїтинах.

3. Ідеальною наноструктурою є вертикальна надришїтєкова структура (рис. 3.3б). За допомогою цїєї структури забезпечується дисоцїація екситонів на інтерфейсах Д - А в межах дифузїєної довжини екситона (5-10 нм) і перенесення електронів і дїрок до вїдповїдних електродів. Ми можемо визначити довжину дифузїї екситонів до декїлькох нанометрів, змїнюючи ширину шару та побудувати таку структуру шляхом штучного проектування на великій території. Вїдомо, що такі наноструктури були вже успїшно побудованї [17].

Псевдовертикальна структура надрешїтки була виготовлена шляхом об'єднання нового типу похїдного C_{60} (дїметїлфенїлсїлїлметїл) фулерен (SIMEF), з бензопорфїрином (рис. 2.1) [18].

Була прийнята змїшєна структура (рис. 3.2а) що виготовляється методом центрифугування, тобто технологїя мокрої обробки. Зустрїчна структура стає чїтко вїдимою (рис. 3.3в) пїсля вїдалення похїдного C_{60} (SIMEF) шляхом промивання в толуолї. Круглї стовпчики кристалїчного бензопорфїрина дїаметром близько 20 нм стоять майже вертикально- це дозволяє екситонам пригнїчувати рекомбїнацїю фєтогенєрованих електронів і дїрок та диссоцїювати в межах їх дифузїєної довжини. За допомогою цїєї системи компанїї Mitsubishi Chemical Co. Ltd. вдалося домогтися ефектївностї перетворення енергїї в 12%. Ця система показана на рис. 3.4а,б, де зображений гнучкий наскрїзний модуль органїчних сонєчних батареї і

продемонстрована будівля з використанням цих модулів в якості стін і вікон, що показує практичну ефективність перетворення.



Рис. 3.4 а) комерційний гнучкий прозорий органічний модуль сонячних батарей; б) будівництво з використанням цих модулів на зовнішніх стінах і вікнах.

Для ефективного переносу дірок в змішаних з'єднання необхідна π - π -укладка органічного напівпровідника. Регулювання розташування довгих ланцюгів дозволили виготовити високоефективні полімерні сонячні елементи, за допомогою формування π - π -укладаки полі (3-гексилтіюфена) (РЗНТ) в суміші метилового ефіру феніл-С61 масляної кислоти (РСВМ) (рис. 2.1) [19].

Внаслідок того, що органічні плівки розташовуються між двома електродами, перпендикулярна орієнтація π - π укладка більш сприятлива для перенесення дірок в змішаних з'єднаннях. Таким чином, лицьова сторона (рис. 3.5а) є придатнішою до використання, ніж ребриста сторона (рис. 3.5б). Використання змішуваних з'єднань органічних сонячних елементів, що мають орієнтацію з лицьового боку, дозволило отримати більші фотоструми без зменшення коефіцієнта заповнення. Такий метод дозволив підвищити ефективність сонячного елемента [20].

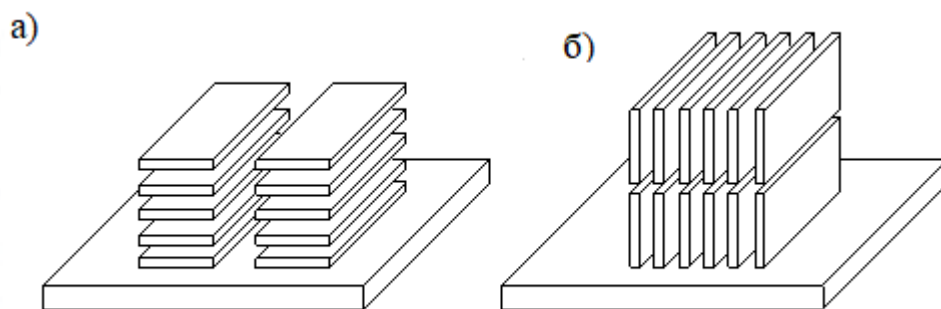
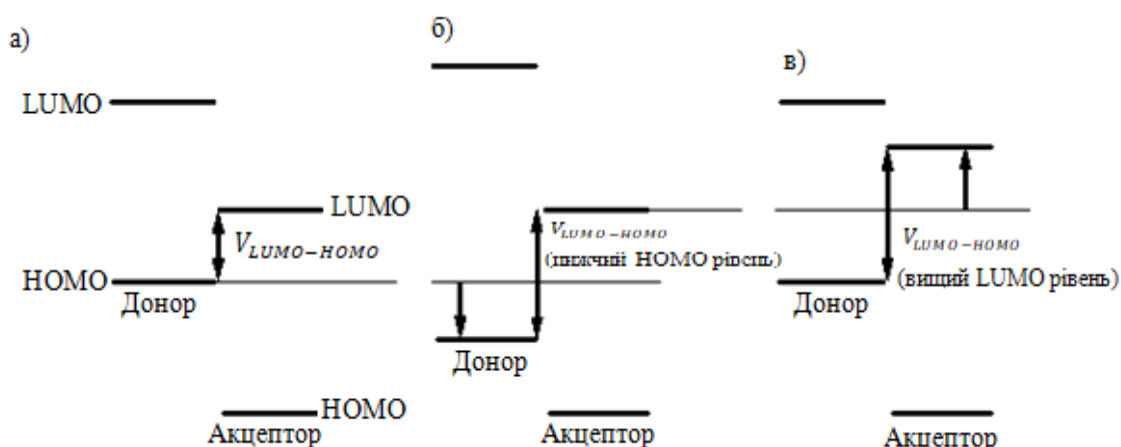


Рис. 3.5 а) лицьова і б) ребриста орієнтації π - π стекування.

4. Збільшення розриву між рівнями НОМО та LUMO

Максимальна напруга розімкнутого ланцюга (V_{oc}) фотоелектричних елементів, що складаються з комбінація донорно-акцепторних органічних напівпровідників, визначається енергетичної різницею між LUMO молекули акцептора і НОМО донорної молекули ($V_{LUMO-HOMO}$)(рис. 3.6). Тобто, щоб досягнути ефективної дисоціацію екситону необхідно близько 0,3 еВ, це спостерігається V_{oc} приблизно на 0,3 В менше, ніж $V_{LUMO-HOMO}$ [21].

Для отримання високого V_{oc} необхідна комбінація донорно-акцепторних органічних напівпровідників, яка має велику різницю $V_{LUMO-HOMO}$ (рис. 3.6). Збільшення V_{oc} через знову синтезовані акцепторних молекули, що мають більш низькі рівні LUMO (Рис 3.6в) [22] і донорні молекули, які складаються з більш глибоких рівнів НОМО (Рис. 3.6б) [21] дозволяє збільшити ефективність сонячного елемента.



Мал. 3.6 а) $V_{LUMO-HOMO}$ різниця донорних і акцепторних молекул; б) різниця $V_{LUMO-HOMO}$ при використанні молекули донора з більш глибоким рівнем НОМО; в)

різниця VLUMO - HOMO з використанням акцепторної молекули з більш низьким рівнем LUMO

5. Використання тандемних сонячні елементів

Тандемні сонячні елементи можуть збільшити загальну ефективну товщину елемента, через дві дуже тонкі донорно-акцепторні гетеропереходні елементи з однаковими спектрами поглинання (рис. 3.7б). Більш того, було отримано з тандемного елемента, що складається з двох тонких змішаних елементів з спектрами поглинання ККД в 5,3% (рис. 3.7в) [23].

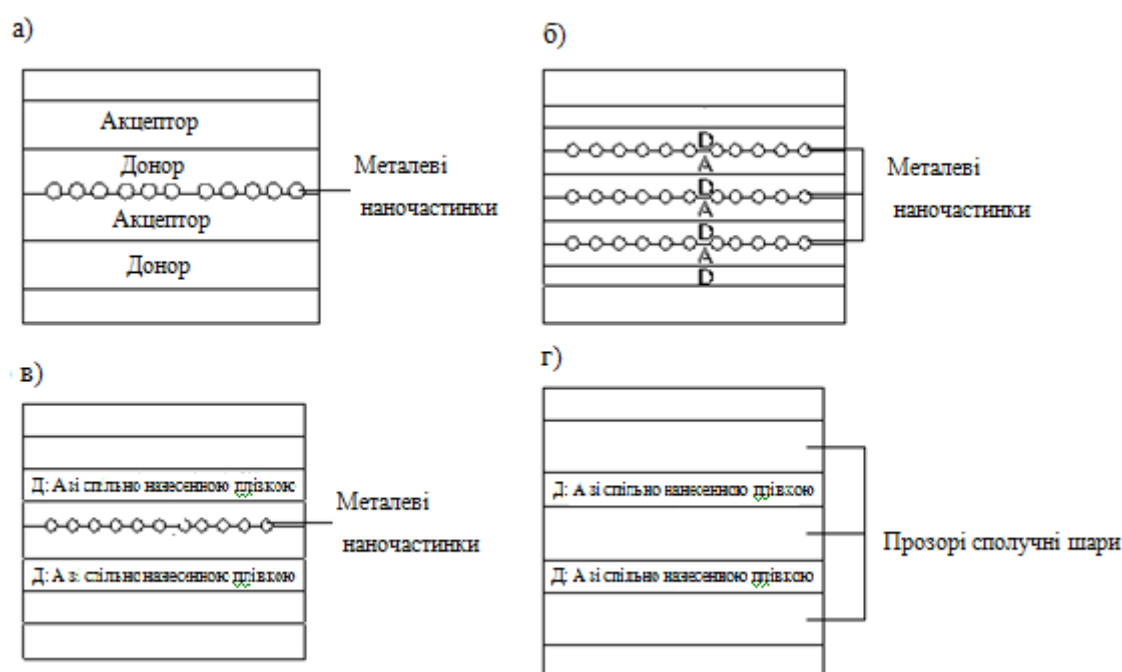


Рис. 3.7 Структури органічних тандемних клітин: а) два гетеропереходних елементи, з'єднані разом; б) серія з безлічі надзвичайно тонких гетеропереходних елементів з спектрами поглинання; в) два тонких змішаних елементи з однаковими спектрами поглинання, з'єднані разом; г) прозорі сполучні шари з оптимальною товщиною

Важливою метою є використання всього сонячного спектра шляхом об'єднання елементів, які поглинають світло з різних частин спектра. Полімерні тандемні елементи, які мають подвійні і потрібні переходи з використанням широкої області довжин хвиль від 300 до 900 нм, мали V_{oc} 2,28В і ефективність 11,55%.

Ефективність 12%, більш складні низькомолекулярні тандемні сонячні елементи (рис. 3.7г), в яких електричне поле світла всередині елемента максимізувало в фотоактивних шарах плівок з кодованим розташуванням [24].

3.1 Фотосинтез як приклад перетворення сонячної енергії

Сонячні панелі в порівнянні з фотосинтезом діють на фотоелектричний ефект. Фотоелектричний ефект - це явище взаємодії світла з сонячним елементом, що складається з двох різних типів напівпровідників, які створюють електричне поле. Фотоелектричний ефект збуджує і переміщує електрони, в той час як фотосинтез створює хімічну зміну.

Обидва ці явища засновані на русі електронів як реакції на світло. Вчені з Університету штату Джорджія виявили, що збуджений електрон при фотосинтезі набагато краще використовує світлову енергію, ніж сучасні сонячні елементи. Цей збуджений електрон, передає енергію світла ультраефективно, внаслідок перетинання клітинної мембрани за допомогою фотосинтезу. У сонячних елементах електрони рухаються хаотично і повертаються в своє початкове положення, перш ніж переходити між напівпровідниками, втрачаючи енергію, яку він ніс. Завдяки цьому вчені можуть експериментувати з різними змінними в виробництві штучних сонячних елементів, щоб збільшити загальну кількість електронів, які рухаються через напівпровідники [25].

Так як клімат постійно змінюється це є імпульсом для дослідження штучного фотосинтезу. Ця технологія має схожий принцип з поглинанням рослинами вуглекислого газу: за допомогою штучного фотосинтезу поглинають вуглекислий газ, перетворюючи його в біопаливо.

Штучний фотосинтез може бути джерелом рідкого палива, такого як етанол. Захисники навколишнього середовища часто рекомендують «водневу економіку» як вирішення проблеми скорочення викидів вуглецю, тобто просто замінити паливо. Водень або етанол, можуть бути отримані за допомогою сонячної енергії, як при штучному фотосинтезі, тому була б

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дата		

змога продовжувати використовувати рідке паливо з меншою шкодою для навколишнього середовища. Електрифікація всього може виявитися складнішою, ніж просто заміна бензину на етанол.

У статті Національної лабораторії Лоуренса Берклі Міністерства енергетики США, опублікованій в журналі «Energy and Environmental Science» у вересні 2017 року, описується процес, який може перетворювати CO_2 в етанол, що може використовуватися в якості палива і етилен, який використовується в промисловості як поліетиленовий пластик. Це був перший показ успішного прямого перетворення вуглекислого газу на паливо та пластмасові вироби [26].

У недавній статті, опублікованій в «Nature Catalysis», обговорюється технологія, за допомогою якої фотоелектричні панелі підключаються до пристрою, що електролізує вуглекислий газ. За їх технологією здатність перетворювати електричну енергію в бажані продукти становила майже 100%, і система майже досягала до 8% ефективності перетворення сонячного світла в паливо. На перший погляд, це не такий вже й великий відсоток, але 20% - це доволі гарний показник для сонячних панелей, що перетворюють енергію сонця в електроенергію; навіть найпродуктивніші заводи досягають ефективності всього близько 6%. Він більш ефективний в перетворенні сонячного світла в накопичену енергію за деякі види біопалива, таких як кукурудзяний біоетанол, оскільки використання кукурудз, як палива, менш ефективно [27].

Інші форми штучного фотосинтезу в основному застосовують водень як паливо. Дослідники з Гарварду недавно придумали вражаючий варіант «біонічного листа», який може перетворювати сонячну енергію в водень. Перевагою такого методу є те, що ефективність швидко зростає, якщо ви піддасте лист чистому CO_2 . Хоча в останні роки ця ідея втратила популярність, все ще проводяться

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	№	Підпис		41

інтенсивні дослідження автомобілів на водневих паливних елементах і водню для опалення будинків, особливо в Японії.

Недоліком штучного фотосинтезу є те, що чим довший процес перетворення, тим більше енергії буде втрачено на цьому шляху. Використання електрифікованих приладів з енергією, що генерується безпосередньо від сонця, було б набагато ефективніше, ніж будь-яка схема перетворення електроенергії і вуглекислого газу в паливо, яке потім спалюється, щоб відновити частину споживаної електроенергії.

Однак, з екологічної і практичної точки зору, створення мільярдів штучних рослин набагато складнішим процесом, ніж посів насіння для декількох правильно обраних видів біопалива. З іншого боку, ці рослини вимагають хорошого ґрунту, який швидко деградує через його виснаження. Одним з головних переваг штучного фотосинтезу є те, що ці «рослини» цвітуть в пустелі або навіть в океанах.

3.2 Конструкція та принцип роботи органічного сонячного елемента

За конструкцією органічні сонячні елементи поділяються на:

1. Одношаровий органічний сонячний елемент - найпростіший сонячний елемент, який має наступну структуру: два електроди (анод та катод), та органічний напівпровідник між ними (рис. 3.8).

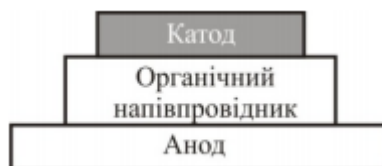


Рис. 3.8 Структура одношарового органічного сонячного елемента

Такі сонячні елементи дуже прості у виготовленні, проте електричного поля, що виникає між електродами, майже недостатньо, для розділення екситона. Внаслідок чого, електрони рекомбінують з дірками, так і не досягнувши електрода

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дата		42

2. Двошаровий органічний сонячний елемент - це елемент, що складається з двох шарів напівпровідників, які накладаються один на одного (рис. 3.9). Електричне поле буде створюватися між цими шарами, оскільки вони мають різну спорідненість електронів та іонізацію. Матеріали для двошарових органічних сонячних елементів обирають такими, щоб відмінність між ними була суттєвою.

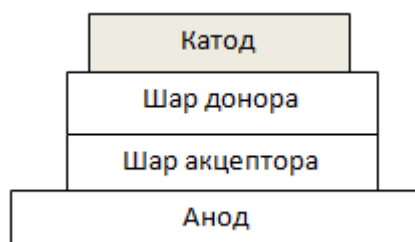


Рис. 3.9 Структура органічного сонячного елемента

Для акцептора обирається шар, який має більшу іонізацію та спорідненість електронів, а для донора відповідно шар з меншими значеннями цих параметрів.

3. Органічні сонячні елементи на основі об'ємних гетероструктур (рис. 3.10). Вони утворюються за допомогою гетеропереходів між двома полімерами, або між полімером та фулереном.

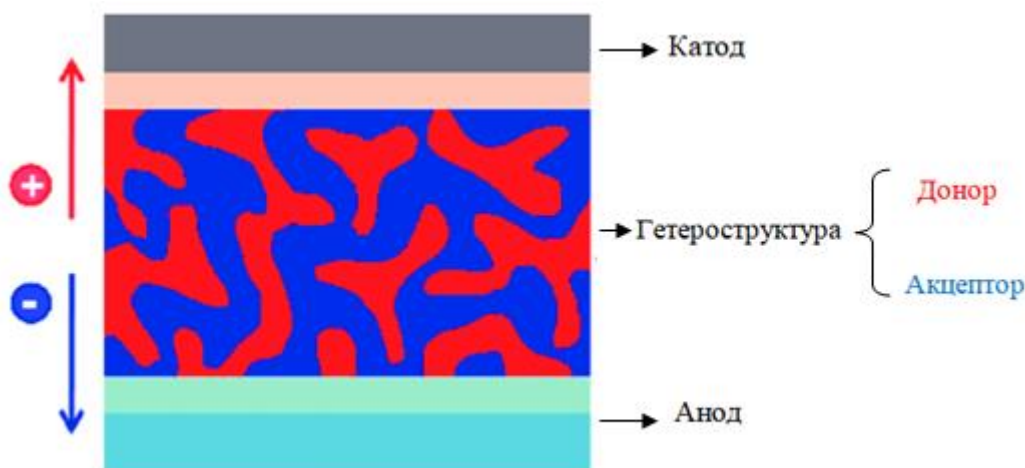


Рис. 3.10 Структура органічного сонячного елемента на основі об'ємних гетероструктур

Гетероструктура поділяється на: донорну, яка поглинає світло і генерує екситон та акцепторну, яка здатна прийняти електрон. Щоб

створити діркову провідність, дірки залишаються в донорному матеріалі, а для електронної провідності, електрони переходять в акцепторний матеріал. Гетероструктури мають бути сильно розгалуженими, бути близько розташованими біля електродів, для кращого збирання зарядів донорної та акцепторної половинки [28].

Принцип роботи органічного сонячного елемента

Сонячний елемент поглинає світло, шляхом відокремлення електронів і дірок один від одного, подаючи електричну енергію на контакти. Відмінність між принципами роботи органічних і неорганічних сонячних елементів полягає в прямій генерації вільного заряду в неорганічних сонячних елементах.

Основною метою роботи органічного сонячного елемента є вироблення електроенергії з сонячного світла. Цього можна досягнути за умови, коли енергія світла дорівнює або перевищує ширину забороненої зони, яка призводить до поглинання і порушення електрона. Збуджений електрон залишить позаду позитивно заряджене простір - дірку. Завдяки тому, що дірки і електрони мають протилежні заряди, вони притягуються і утворюють електронно-дірковий пару (відому як «екситон»). Для видалення зарядженої частинки, електронно-діркова пара повинна бути відокремлена(цей процес називається «дисоціація екситона»).

Органічні напівпровідники мають низькі діелектричні постійні, що дає більші значення енергії зв'язку в діапазоні 0,3-0,5 еВ. У результаті дисоціація екситона не може бути досягнута тільки тепловою енергією. Для уникнення цього в органічному сонячному елементі використовують щонайменше два різних органічних напівпровідника. Рівні енергії між двома різними органічними напівпровідниками зміщені, причому різниця більше, ніж енергія зв'язку, що дозволяє дисоціації екситонів відбуватися на межі поділу між ними [29].

У залежності від дисоціації органічного напівпровідника його класифікують як «донор», або як «акцептор»(тобто матеріал жертвує

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дата		

електрон або приймає його). У більшості випадків донором буде поглинати найбільшу кількість світла, що призводить до генерації екситона. Після чого на межі з акцептором екситон буде дисоціюватися, при чому електрони будуть рухатися до аноду, а дірки до катоду (рис. 3.11)

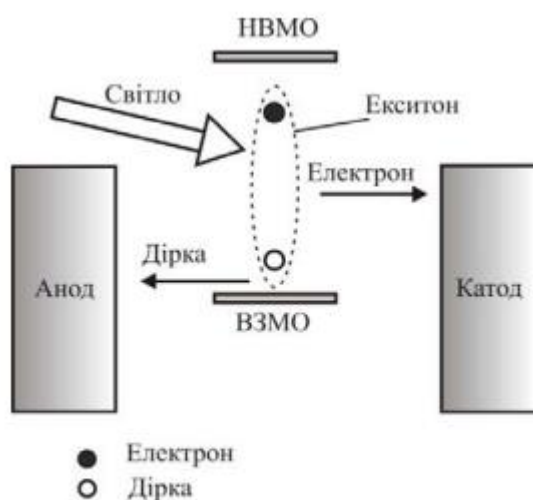


Рис. 3.11 Принцип роботи органічного сонячного елемента

Перехід електрона з найвищої зайнятої молекулярної орбіталі (англ. highest occupied molecular orbital, HOMO) на найнижчу незайняту молекулярну орбіталь (англ. lowest unoccupied molecular orbital, LUMO) супроводжується поглинанням донорним полімером фотона .

Електрон передається матеріалу акцептора (він має більш глибокі рівні HOMO і LUMO), при цьому залишається дірка на матеріалі донора.

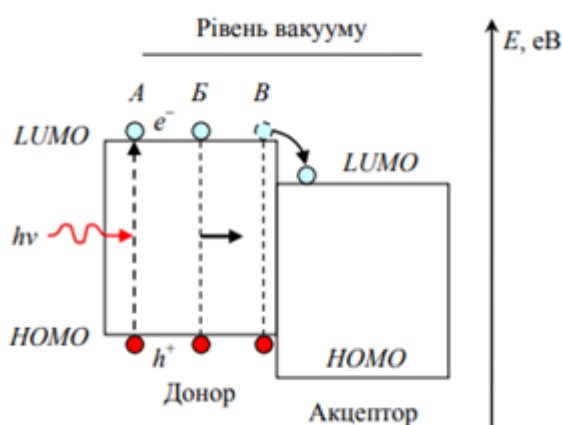


Рис. 3.12 Процеси в органічному сонячному елементі:

А-поглинання фотона молекулою донора та утворення екситона; Б-дифузія екситона до гетеропереходу донор/акцептор; В-розділення зарядів (перехід електрона до молекули акцептора) [3].

Ключовим фактором для генерації носіїв в органічних напівпровідниках є дисоціація фотогенерованих електронно-діркових пар (екситонів). Відносна діелектрична проникність твердого тіла (ϵ) впливає на дисоціацію екситона. Законом Кулона визначається сила тяжіння між електронно-дірковою парою :

$$F = \left(\frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \right) \left(\frac{q_1 q_2}{r^2} \right),$$

де ϵ_0 , q_1 , q_2 і r - абсолютна діелектрична проникність, елементарні заряди на електроні і дірці і відстань між ними відповідно. Тіла з невеликим значенням ϵ мають велике значення сили тяжіння і навпаки, тіла з великим значенням ϵ мають відносно невелике значення сили тяжіння.

Неорганічні напівпровідники мають великі значення для ϵ . Наприклад, значення для Si становить 11,9, а екситон має великий діаметр 9,0 нм і локалізований він приблизно на 104 атомах Si (рис. 3.13а). Для того, щоб екситон типу Ванье-Мотта негайно диссоціювався на вільний електрон і дірку, створюючи тим самим фотострум, достатньо теплової енергії при кімнатній температурі.

Органічні напівпровідники у свою чергу мають невеликі значення для ϵ . Наприклад, значення для C_{60} становить 4,4, а діаметр екситона складає всього 0,50 нм і локалізований на одній молекулі C_{60} (рис. 3.13б). Для того, щоб екситон типу Френкеля диссоційованого на вільні електрони і дірки міг легко перейти в основний стан, недостатньо теплової енергії при кімнатній температурі (рис. 3.1а). Саме тому органічні напівпровідники генерують дуже мало фотоносіїв.

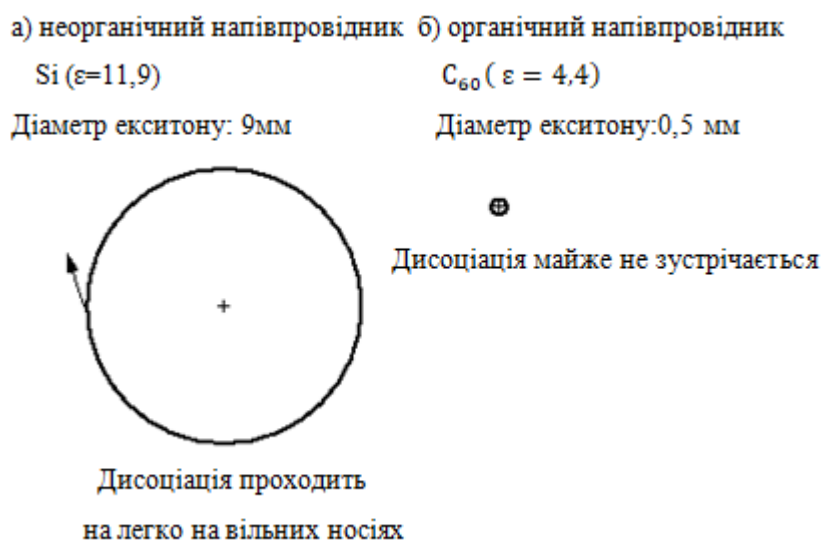


Рис. 3.13 (а) розмір екситонів для неорганічного напівпровідника (Si) і (б) для органічного напівпровідника (C_{60}). Перший відноситься до типу Ваньє і легко дисоціює на вільні носії, другий до типу Френкеля майже не дисоціює на вільні носії [14].

3.3 Технологія виготовлення органічних сонячних елементів

Матеріали, що використовуються для створення органічних сонячних елементів зазвичай в своїй основі містять вулець, окрім рідкісних або токсичних елементів. Властивості, як фізичні так і хімічні, можуть бути адаптовані під потреби області застосування цих матеріалів

Виготовлення органічного сонячного елемента може бути здійснено за допомогою звичайних методів друку, уникаючи дорогих методів на основі високих температур та вакууму. Друк цих елементів здійснюється за допомогою пластин, які мають високу пропускну здатність. Споживання енергії при цьому дуже мале, порівняно з кремнієвими аналогами. Також матеріали які залишилися після експлуатації, можуть бути перероблені та використані знову. Ці фактори показують, що виготовлення органічних сонячних елементів є вигіднішим, за створення кремнієвих сонячних елементів.

Виготовлення органічного сонячного елемента складається з наступних кроків:

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	№	Підпис	Дата	

1. Підготовка підкладки, для послідовного нанесення шарів.
2. Нанесення шару електроду. Для цього використовують лазери, які будують нижній прозорого електрод поверх підкладки, створюючи основу для органічного сонячного елемента
3. Розміщення необхідних шарів. На цьому етапі за допомогою друкарських технологій розміщують шари, використовуючи такий спосіб доволі легко масштабувати розмір сонячного елемента.
4. Нанесення шару верхнього електроду.
5. Запаковування органічного сонячного елемента, для уникнення його пошкодження [30].

Органічні сонячні елементи виготовляються з різних матеріалів, тому для кожного виду необхідний свій метод.

Полімерні сонячні елементи обробляються за допомогою методу центрифугування або струменевого друку. Для використання цього методу необхідне вакуумне осадження металу

Низькомолекулярні сонячні елементи обробляються в вакуумі шляхом фізичного осадження з парової фази.

Сонячний елемент сенсibilізований барвником (елемент Гретцеля) містить високопористий шар діоксиду титану в якості шару перенесення електронів, на якому адсорбуються молекули барвника, тому його обробляють шляхом трафаретного друку діоксиду титану, з подальшим нанесенням барвника.

3.4 Перспективи розвитку органічних сонячних батарей

В основному сонячні батареї виготовляються з кремнію, оскільки його ефективність набагато більша, за його аналоги (перетворює близько 19% отриманого сонячного світла). На сьогоднішній день сонячні елементи на основі пластику та вуглецю наздоганяють кремнієві елементи за ефективністю.

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	№	Підпис	Дата	48

На даний момент їх ефективність становить від 15 до 20%. Також важливою їх перевагою є гнучкість, легкість та зручність обробки, що надає широкий спектр, для їхнього застосування .

З моменту розробки першого органічного пристрою (OLED-дисплею) інтерес до органічних напівпровідників все більш зростає.

Останні дослідження показали, що ефективність OLED можна підвищити при інтеграції з органічними сонячними елементами, завдяки тому що органічні елементи здатні переробляти певну кількість сонячної енергії. Органічні сонячні елементи доцільно використовувати як самостійний сонячний елемент, так як вони мають гнучку полімерну структуру та їх вплив на навколишнє середовище мінімальний. Проте, як відомо, що важливим фактором, який впливає на ефективність сонячних елементів є висока рухливість носія заряду. Це означає, втрати струму за допомогою рекомбінації набагато менші, внаслідок того, що заряди транспортуються до електродів швидше.

В органічному напівпровіднику ефективність обмежена переносом зарядного стрибка. Одним із способів подолання цього є поєднання неорганічних напівпровідників з органічними. Швидкість передачі заряду при цьому може значно зрости.

Як остаточний прогноз, можна сказати ,що перетворення енергії за допомогою використання сонячних батарей є важливою складовою майбутнього світового виробництва енергії за умови, що це енергія стане економічно вигідною для виробництва. Органічні сонячні елементи мають великий потенціал для розвитку нового широкомасштабного виробництва електроенергії на основі органічних технологій та матеріалів, екологічно безпечних та недорогих. Матеріали на основі органіки мають надзвичайно високе оптичне поглинання, тому можуть бути оброблені на гнучких підкладках.Останні покращення ефективності та тривалості життя показують, що органічні сонячні батареї швидко вийдуть на ринок.

					ДП,ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	№	Підпис		Дата

Висновки до 3-го розділу

У третьому розділі було розглянуто конструкцію, принцип роботи та технологію виготовлення органічних сонячних батарей.

В основному органічні сонячні елементи в своїй структурі мають молекули, що нагадують барвники, такі як фталоціаніни або поліциклічні барвники. До основних типів матеріалів, з яких складаються органічні сонячні елементи відносяться: напівпровідниковий матеріал з малих молекул, з полімерів або сенсibilізований барвником сонячний елемент.

Ефективність органічних сонячних елементів становить 10%, а інколи і 7-9%. Проте у ході виконання роботи було досліджено підвищення цього параметру, за допомогою методів: сенсibilізації донор-акцептор, формування маршруту, використання змішаних з'єднань і тандемних елементів та збільшення розриву між рівнями HOMO та LUMO.

За своєю конструкцією органічні сонячні елементи бувають: одношарові, двошарові та сонячні елементи на основі об'ємних гетероструктур.

Виготовлення органічних сонячних елементів доволі простий процес, який складається з друку на спеціальному обладнанні, розміщуючи шари один на одного.

Також було розглянуто фотосинтез, як джерело перетворення сонячної енергії (його ще називають штучний фотосинтез). Недоліком штучного фотосинтезу є те, що чим довший процес перетворення, тим більше енергії буде втрачено на цьому шляху. Проте ці рослини можуть бути створені в будь-яких умовах(у пустелі чи навіть в океані).

Органічні сонячні елементи – це гнучкий та дешевий аналог кремнієвим елементам. Органічні сонячні елементи мають великий потенціал для розвитку нового широкомасштабного виробництва

електроенергії на основі органічних технологій та матеріалів, екологічно
безпечних та недорогих

					ДП,ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	№	Підпис	Дата	52

4 РОЗРАХУНОК ПРОДУКТИВНОСТІ, КІЛЬКОСТІ МОДУЛІВ ТА ПЛОЩІ СОНЯЧНОЇ БАТАРЕЇ

Для розрахунку використаємо сонячну панель Jinko Solar JKM 260P
260 Вт [31]

Матеріал, для сонячної батареї - полікристалічний кремній (ККД для них становить 15%)

Розмір сонячної панелі – 156мм*156мм

Напруга холостого ходу- 38,1В

Потужність сонячного елементу- 260Вт

Струм короткого замикання- 8,98А

Напруга при максимальній потужності- 31,1 В

Струм при максимальній потужності- 8,37 А

4.1 Розрахунок продуктивності сонячного елементу

Основним показником продуктивності є енергія, що генерується сонячною батареєю.

Для розрахунку енергії сонячного елементу застосуємо наступну формулу:

$$E = \frac{I * K_o * P_{\text{мод}} * K_{\text{пот}}}{P_{\text{випр.}}}$$

де:

Е-енергія, що генерується сонячною батареєю [кВт*год]

І-енергія сонячного випромінювання,що падає на поверхню землі в горизонтальній площині[$\frac{\text{кВт*год}}{\text{м}^2}$]

K_o -поправочний коефіцієнт перерахунку сумарного потоку енергії з горизонтальної площини на похилу поверхню сонячної батареї

$P_{\text{мод}}$ -номінальна потужність сонячної енергії [кВт]

$K_{\text{пот}}$ -ККД передачі електричного струму

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дата		

$P_{\text{випр.}}$ - максимальна потужність інсоляції $[\frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}]$

Розрахуємо енергію, що генерується за допомогою сонячної батареї для міста Одеси (взявши за основу найпродуктивніший місяць):

Значення параметру енергії сонячного випромінювання візьмемо з таблиці 4.1- 6,04 (використовуючи таблицю 4.1, візьмемо найбільше значення цього параметру (у липні))

	Січень	лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	грудень	Рік
Київ	1,07	1,87	2,95	3,96	5,25	5,22	5,25	4,67	3,12	1,94	1,02	0,86	3,10
Одеса	1,25	2,11	3,08	4,38	5,65	5,85	6,04	5,34	3,93	2,52	1,36	1,04	3,55
Херсон	1,3	2,13	3,08	4,36	5,68	5,76	6,00	5,29	4,00	2,57	1,36	1,04	3,55
Львів	1,08	1,83	2,82	3,78	4,67	4,84	4,84	4,45	3	1,85	1,08	0,83	2,92
Чернівці	1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,4	3,06	2	1,20	0,94	2,94

Таблиця 4.1 Значення параметру інсоляції для України

Кут скату покрівлі 45° і відхилення від південного напрямку 25°

Поправочний коефіцієнт -1,1

Максимальна середньорічна потужність енергії сонячного випромінювання, при якій тестуються сонячні батареї- $1,1[\frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}]$

Розрахуємо енергію сонячного елементу:

$$E = \frac{0,26 * 6,04 * 1,1 * 0,15}{1,1} = 0,236 \text{ кВт} * \text{год}$$

Знайдемо генерацію енергії за добу: $E=0,236*24=5,65 \text{ кВт} * \text{год}$

4.2 Розрахунок загальної кількості модулів та площі сонячного елемента

Розрахуємо сумарну необхідну місткість акумуляторної батареї:

Необхідна кількість енергії становить(Q)- 5,65кВт*год

Робоча напруга для акумулятора(U)- 48В

Врахуємо також коефіцієнт ємності - 0,7(який показує що не можна повністю розряджати батареї:

$$q_{\text{доб}} = \frac{Q}{0,7 * U}$$
$$q_{\text{доб}} = \frac{5065}{0,7 * 48} = 150,74 \text{ А * год}$$

Знайдемо пікове значення:

$$N_{\text{дпик}} = \frac{I}{1 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}} = 1,1 \text{ год}$$

Знайдемо значення струму, що генерують сонячні батареї:

$$I_{\text{СБ}} = \frac{\mathcal{L} * q_{\text{доб}}}{N_{\text{дпик}}},$$

де \mathcal{L} - врахування витрат на заряд та розряд- 1,2

$$I_{\text{СБ}} = \frac{1,2 * 150,74}{1,1} = 164,44 \text{ А}$$

Знайдемо число модулів, що працюють паралельно:

$$N_{\text{пар.}} = \frac{I_{\text{СБ}}}{I_{\text{макс}}},$$

де $I_{\text{макс}}$ -струм максимальної потужності

$$N_{\text{пар.}} = \frac{164,44}{8,37} = 19$$

Знайдемо, число модулів,що працюють послідовно:

$$N_{\text{посл.}} = \frac{U_{\text{пост.}}}{U_{\text{ном.}}},$$

де $U_{\text{пост.}}$ -робоча напруга- 48В

$$N_{\text{посл.}} = \frac{48}{31,1} = 2$$

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дата		55

Знаходимо загальну кількість, як добуток послідовно і паралельно з'єднаних елементів:

$$N = N_{\text{посл.}} * N_{\text{пар.}}$$

$$N = 2 * 19 = 38$$

Площа сонячної панелі:

$$S_{\text{п}} = 156 * 156 = 24336 \text{мм} = 0,024 \text{м}^2$$

Площа сонячної батареї:

$$S_{\text{СБ}} = S_{\text{п}} * N$$

$$S_{\text{СБ}} = 0,024 * 38 = 0,91 \text{м}^2$$

Запишемо витрати потужності при обслуговуванні будинку

Точка споживання	Загальна потужність, Вт	Середньодобо ве споживання, Вт*год	Потужність інвертора
Холодильник	150	3600	150
Телевізор	150	600	150
Комп'ютер	400	2000	400
Мікрохвильва піч	1500	900	1500
Електрочайник	1500	300	1500
В загальному	3700	7400	3700

Таблиця 4.2 Кількість затрат потужності на обслуговування будинку

Середньодобове споживання становить – 7,4кВт*год, а сонячна батарея виробляє- 5,65 кВт*год. Тому можна зробити висновок, що двох батарей буде цілком достатньо для забезпечення будинку електроенергією. Загальна площа таких батарей буде становити - 1,82м²

4.3 Розробка структурної схеми для зняття спектральної характеристики



Рис 4.1 Структурна схема зняття спектральної характеристики органічного сонячного елемента

Для зняття спектральної характеристики органічного сонячного елемента запропоновано використати установку, структурна схема якої зображена на рис. 4.1.

Для імітації сонячного випромінювання в якості джерела світла вибрано галогенову лампу, яка завдяки використанню кварцової колби має спектр випромінювання, близький до сонячного. Джерелом змінного струму, який подається на лампу, є електрична мережа 220 В.

Випромінювання лампи збирається об'єктивом на коліматорі, призначеному для формування на вході монохроматора паралельного потоку випромінювання.

У монохроматорі дисперсійним елементом є кварцова призма, поворотом якої можна вибирати з райдужного спектра вхідного випромінювання майже монохроматичне випромінювання, подаючи на вихідну щілину монохроматора тільки вузьку «одноколірну» смужку з райдужного спектра, створеного призмою.

«Одноколірне» випромінювання з середньою довжиною хвилі λ_i потрапляє на органічний сонячний елемент, змінний (100 Гц) фотоелектричний сигнал з якого підсилюється низькочастотним (НЧ) підсилювачем, перетворюється аналого-цифровим перетворювачем (АЦП) в цифрову форму і за допомогою пристрою введення цифрового сигналу потрапляє в комп'ютер.

Задачею комп'ютера є накопичення спектральних відгуків сонячного органічного елемента на випромінювання з різними довжина хвиль λ_i побудова характеристики спектральної чутливості даного типу сонячного елемента.

Висновок до 4-го розділу

У ході виконання роботи, було розраховано енергію, що генерує сонячна батарея, площу та загальну кількість модулів. Розрахунки проводилися для використання автономної сонячної батареї на основі панелі Jinko Solar JKM 260P 260 Вт, що знаходиться на будинку в місті Одесі. У результаті дослідження було отримано такі параметри, що дозволять цілком забезпечити будинок необхідною кількістю енергії(для цього потрібно використати дві такі батареї). Загальна площа таких батарей становить $1,82\text{ м}^2$. Також слід відмитити, що в південній Україні є всі необхідні умови для використання сонячної енергії, як енергетичного ресурсу, адже кількість сонячного світла, що виробляється сонячною батареєю там набагато більше за північні області. Також було розроблено структурну схему, що дозволяє зняти спектральну характеристику органічного сонячного елемента

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	№	Підпис	Дата	58

ВИСНОВКИ З ВИКОНАНОЇ РОБОТИ

У першому розділі було проведено огляд конструкцій, властивостей, технологій виготовлення та перспектив розвитку сонячних батарей.

Досліджено основні матеріали, які використовуються для побудови сонячних елементів та методи покращення сонячних елементів: використання перовскітових, тонкоплівкових та сонячних елементів на наночастинках.

У другому розділі було розглянуто органічні напівпровідники, їх властивості та перспективи розвитку. Велику увагу приділялось порівнянню органічних та неорганічних сонячних елементів. Досліджено особливості структури органічних напівпровідників. Проведено аналіз використання органічних напівпровідників в електроніці.

У третьому розділі було розглянуто конструкцію, принцип роботи та технологію виготовлення органічних сонячних батарей. Досліджено параметри, що впливають на ефективність та способи їх підвищення.

Розглянуто фотосинтез, як джерело перетворення сонячної енергії (так званий штучний фотосинтез). Проведено аналіз переваг та недоліків органічних сонячних батарей.

У четвертому розділі було розраховано енергію, що генерує сонячна батарея, площу та загальну кількість модулів. Розрахунки проводилися для використання автономної сонячної батареї на основі панелі Jinko Solar JKM 260P 260 Вт, що знаходиться на будинку в місті Одесі. У результаті чого були отримані параметри, які є показником того, що доцільно використовувати сонячні батареї в якості джерела електроенергії. Розроблено структурну схему, що дозволяє зняти спектральну характеристику органічного сонячного елементу

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дата		59

СПИСКИ ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Solar Cell: Working Principle & Construction [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.electrical4u.com/solar-cell/> // (дата звернення 05.02.2020)
2. Бессель В.В., Кучеров В.Г., Мингалеева Р.Д. Изучение солнечных фотоэлектрических элементов: Учебно-методическое пособие. – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2016. – 90 с.
3. Чадюк В. О. Оптоелектроніка: від макро до нано. Передавання, перетворення та приймання оптичного випромінювання: навч. посіб. У 2 кн. / В. О. Чадюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2018. – Кн. 1. – 376 с.
4. Danylenko M. Photovoltaics: Materials Used and How Their Efficiency and Cost Can Be Improved [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://matmatch.com/blog/solar-panels-materials-efficiency-cost/> // (дата звернення 20.02.2020)
5. Метод Чохральського [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/3873647/page:4/> // (дата звернення 27.02.2020)
6. Solar cell [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.madehow.com/Volume-1/Solar-Cell.html> // (дата звернення 15.03.2020)
7. Silicon Solar Cells.Compare Prices and Quality of Solar Energy [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.greenmatch.co.uk/solar-energy/solar-panels/silicon-solar-cells> // (дата звернення 19.03.2020)
8. Benedette Cuffari What Nanotechnology is Used in Solar Panels? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=5090> //(дата звернення 11.04.2020)

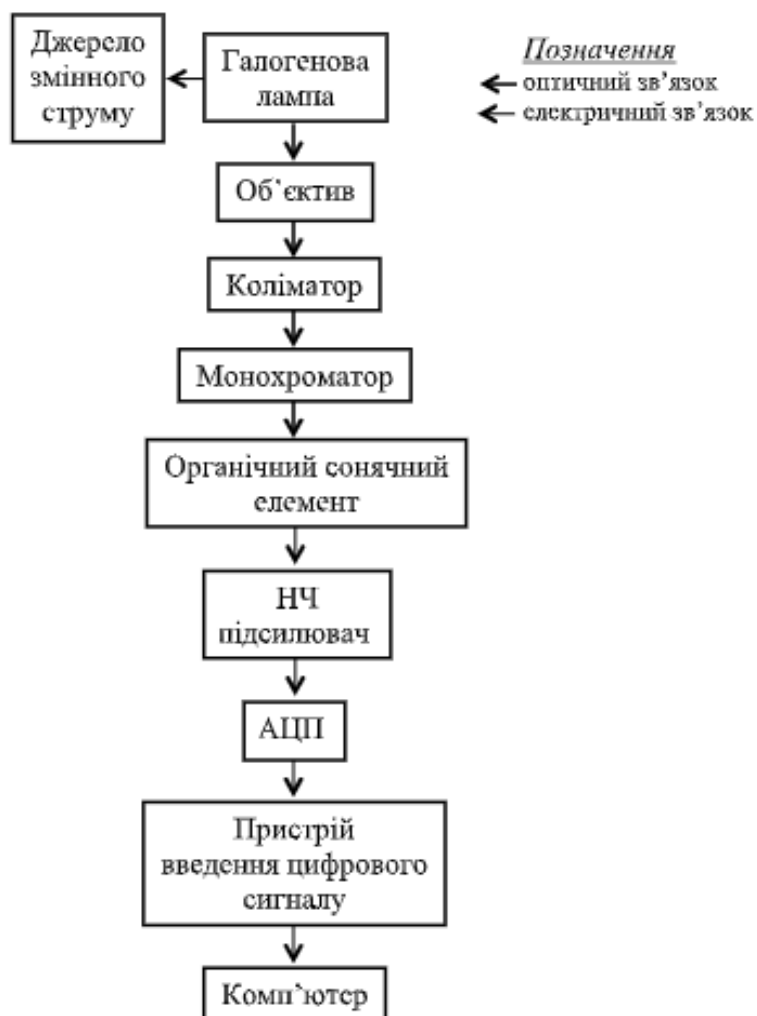
9. Daniel Burges Thin-film solar cell [Електронний ресурс]. –
Режим доступу: <https://www.britannica.com/technology/thin-film-solar-cell> // дата звернення 11.04.2020)
10. Organic Semiconductors [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://www.oe.phy.cam.ac.uk/research/materials/osemiconductors> // (дата
звернення 11.04.2020)
11. W. Brutting Organic Semiconductors [Електронний ресурс]. –
Режим доступу: <https://www.fysik.uni-augsburg.de/organic/Dateien/OrganicSemiconductors.pdf> // (дата
звернення 18.04.2020)
12. Organic Semiconductor System. Material, properties and device fabrication
[Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<http://physics.usask.ca/~chang/homepage/Organic/Organic.html> // (дата
звернення 16.04.2020)
13. Organic solar cells: what you need to know [Електронний ресурс]. –
Режим доступу: <https://news.energysage.com/organic-solar-cells-what-you-need-to-know/> // (дата звернення 18.04.2020)
14. Hiramoto M., Shinmura Y. Organic Solar Cells. In: Kasap S., Capper P.
(eds) Springer Handbook of Electronic and Photonic Materials. Springer
Handbooks. Springer, Cham, 2017.- 262 с. [Електронний ресурс]. –
Режим доступу: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-48933-9_54
15. M. Hiramoto, H. Fujiwara, M. Yokoyama: Appl. Phys. Lett
[Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.104423> //(дата звернення
18.04.2020)
16. F. Padinger, F.R.S. Rittberger, N.S. Sariciftci: Advanced Function Material
[Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/adfm.200390011> //(дата
звернення 18.04.2020)

					ДП.ДЕ62.09.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дата		61

17. M. Hiramoto, T. Yamaga, M. Danno, K. Suemori, Y. Matsumura, M. Yokoyama: Appl. Phys. Lett. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.2206124> //(дата звернення 19.04.2020)
18. Y. Matsuo, Y. Sato, T. Niinomi, I. Soga, H. Tanaka, E. Nakamura: J. Am. Chem. Soc. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ja9048702> //(дата звернення 23.04.2020)
19. Y. Kim, S. Cook, S.M. Tuladhar, S.A. Choulis, J. Nelson, J.R. Durrant, D.D.C. Bradley, M. Giles, I. McCulloch, C.-S. Ha, M. Ree: Nat. Mater. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nature.com/articles/nmat1574> //(дата звернення 24.04.2020)
20. I. Osaka, M. Saito, T. Koganezawa, K. Takimiya: Adv. Mater. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/adma.201303059> //(дата звернення 24.04.2020)
21. M.C. Scharber, D. Mühlbacher, M. Koppe, P. Denk, C. Waldauf, A.J. Heeger, C.J. Brabec: Adv. Mater. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/adma.200501717> //(дата звернення 24.04.2020)
22. Y. Matsuo: Chem. Lett. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.journal.csj.jp/doi/abs/10.1246/cl.2012.754> //(дата звернення 03.05.2020)
23. M. Hiramoto, M. Suezaki, M. Yokoyama: Chem. Lett. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.journal.csj.jp/doi/abs/10.1246/cl.1990.327> //(дата звернення 03.05.2020)
24. J. Xue, S. Uchida, B.P. Rand, S.R. Forrest: Appl. Phys. Lett. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.1829776> //(дата звернення 05.05.2020)

25. How Understanding Photosynthesis Makes for Better Solar Energy
[Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://hipporeads.com/how-understanding-photosynthesis-makes-for-better-solar-energy/> //(дата звернення 06.05.2020)
26. Major Advance in Artificial Photosynthesis Poses Win/Win for the Environment [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://newscenter.lbl.gov/2015/04/16/major-advance-in-artificial-photosynthesis/> //(дата звернення 15.05.2020)
27. [T. Haas](#), [R. Krause](#), [R. Weber](#), [M. Demler](#), [G. Schmid](#) Technical photosynthesis involving CO₂ electrolysis and fermentation
[Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.nature.com/articles/s41929-017-0005-1> //(дата звернення 15.05.2020)
28. Hlongwane, Mpumelelo Howard. SINGLE AND DOUBLE LAYER BULK HETEROJUNCTION ORGANIC SOLAR CELL
[Електронний ресурс]. Режим доступу: ukzn.space.ukzn.ac.za/handle/10413/13355 //(дата звернення 18.05.2020)
29. E. Spooner Organic Photovoltaics: An Introduction
[Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.ossila.com/pages/organic-photovoltaics-introduction> //(дата звернення 16.05.2020)
30. OPV manufacturing process [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.opvius.com/en/manufacturing.html> //(дата звернення 24.05.2020)
31. Сонячна батарея Jinko Solar JKM260P
[Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.ecosvit.net/ua/solar-module-jinkosolar-260Wc> //(дата звернення 26.05.2020)

ДП.ДЕ62.09.000 Е1



ДП.ДЕ62.09.000 Е1

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Тимчик Д. С.		
Перевір.		Писаренко Л. Д.		
Т. Контр.				
Н. Контр.		Чадюк В. О.		
Затверд.		Ямненко Ю. С.		

Органічні сонячні елементи

Літ.

Маса

Масштаб

Арк. 1

Аркуші 1

КПІ ім. Ігоря Сікорського,
ФЕЛ. ЕПС. зр. ДЕ62

SUMMARY

ORGANIC SOLAR CELL

The diploma project of first educational level "Bachelor" by specialty 171 Electronics, specialization .Tymchyk Dmytro Stanislavovych. National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute». Faculty of Electronics, Department of Electronic Devices and Systems. Academic group DE-62. - Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2020. – 58 p., Ill. 19 tables 2.

Keywords: solar cell, organic semiconductor, exciton, organic solar cell, perovskite, nanoparticle cell, HOMO and LUMO levels, donor acceptor, fullerene

The aim of the work is to study organic solar cells, an alternative material to silicon solar cells

Nature of work: research

Summary of the work: In the thesis was a review of scientific and technical literature on solar cells. Particular attention is paid to the study of organic solar cells.

Solar energy is a cheap and eternal source of renewable energy, which has the advantage that there is no pollution.

One of the main sources of renewable energy is the use of solar panels that convert sunlight into electricity.

Currently, solar panels based on elements made of monocrystalline silicon or polycrystalline silicon are mainly used, and many harmful substances are used in their manufacture (this raises significant doubts about environmental friendliness). Their efficiency is 20% and their shelf life is over 30 years. However, their cost is quite high, due to the high cost of their creation, installation and maintenance, in addition, they are not so easy to dispose of, because there are heavy metals.

That is why in recent years, researchers are increasingly studying analogues of silicon elements. Such elements are the use of organic polymers that convert solar energy into electrical energy.

The first section investigated the main properties, parameters and design features of solar cells.

The solar cell consists of diodes that are based on the p-n junction. According to the number of p-n transitions, SEs are divided into single-junction and multi-junction. The difference between them is that single transients generate energy only in one narrow spectrum of solar radiation, while many transients have several transitions, with each transition responsible for its own spectrum of radiation.

The main parameters that characterize solar cells include: peak power P_{max} , short-circuit current density J_{sc} , open circuit voltage V_{oc} and the fill factor.

By design, solar cells consist of layers: glass, protective layer and front contact layer.

In addition to silicon, elements based on perovskite, thin-film and solar cells on nanoparticles are used to improve the production of CE.

The manufacture of SE consists of the following stages:

1. Purification of silicon, where silicon is passed through a floating zone technique and a rod is made. This rod is passed through a heated zone, as a result of which all impurities are collected at one end. Then this end is cut off.

2. Production of single-crystal silicon, for this silicon crystal is immersed in molten polycrystalline silicon. After this process, a cylindrical ingot of silicon is formed.

3. Production of silicon wafers, where ingots are cut into thin plates

4. Doping, where the semiconductor is treated with phosphorus and boron in order to obtain a shortage or excess of electrons

5. Placement of electrical contacts, they are placed for connection with other elements and with the receiver

6. Lamination, use coatings of titanium dioxide and silicon oxide in order to avoid light reflection.

7. Installation, dismantled aluminum frame and box.

8. The last step is to control the quality of the solar panel. At thi stage, the temperature, pressure, speed and amount of doping impurities are constantly monitored. Certain measures are also being taken to provide protection against contamination in the air and on work surfaces.

In order to check the quality and standards, semiconductors must pass electrical tests, which measure the indicators of short-circuit current, no-load voltage and maximum power of the element.

Another important test is the response of solar cells to heat and cold, to certain vibrations and hail, and so on.

The last test is to place the solar panels where they will actually be used (the so-called field test). This allows the researcher to determine the efficiency in the environment and the service life of the solar panel. However, solar cells are quite expensive to manufacture, which is why they are being replaced by a cheaper analogue based on organic semiconductors.

In the second section, organic semiconductors, their main properties and devices based on these conductors were considered.

Organic semiconductors have certain features, namely: the presence of well-defined spin states, the ability to be localized in a single molecule, which gives them significant binding energy.

Organic semiconductors are widely used in electronics, namely: in OLED displays and in organic solar panels.

In the third section the principle of work, and also features of work of organic solar cells was considered.

By their design, organic solar cells are divided into: single-layer, double-layer and solar cells based on three-dimensional heterostructures.

A single-layer solar cell is based on two electrodes and an organic semiconductor, which is located between them. These elements are easily manufactured, but the electric field that occurs between the electrodes is almost insufficient to separate the exciton. As a result, electrons recombine with the holes without reaching the electrode.

A two-layer organic solar cell is an element that consists of two layers of semiconductors that overlap. An electric field will be created between these layers because they have different electron affinities and ionization.

Organic solar cells, based on three-dimensional heterostructures, are formed by heterojunctions between two polymers.

The heterostructure is divided into: a donor, which absorbs light and generates an exciton, and an acceptor, which is able to receive an electron. To create a hole conduction, the holes remain in the donor material, and for electronic conductivity, the electrons pass into the acceptor material. Heterostructures should be strongly branched, be close to the electrodes, for better charge collection of the donor and acceptor halves.

The material for the manufacture of organic solar cells are phthalocyanines and polycyclic dyes. There are three types of organic materials for solar cells: semiconductor material of small molecules (low molecular weight (NM) solar cells), semiconductor material of polymers (polymer solar cells); dye-sensitized solar cell (or Gretzel element).

The efficiency of organic solar cells, compared with their silicon counterparts is quite small, so to increase it use the following methods: donor-acceptor sensitization, route formation, use of mixed compounds and tandem elements, increasing the gap between HOMO and LUMO levels.

For the manufacture of solar cells based on organic semiconductors use the following methods:

- preparation of the substrate for sequential application of layers.
- application of an electrode layer.
- placement of the necessary layers.
- application of a layer of the upper electrode.
- packaging of an organic solar cell to avoid its damage

The fourth section calculates the performance, number of solar modules and total battery area. Calculations were made for a house located in the city of Odessa and has an autonomous energy supply. The basis was a solar panel made of polycrystalline silicon type Jinko Solar JKM 260P . One such panel generates energy per day $E=5,65$. In addition, the area of one such solar panel is $S_{CB} = 0,91$, that is, they take up quite a bit of space. Calculations have shown that two such batteries will

be enough to provide the house with electricity. A structural diagram was also constructed to remove the spectral characteristics of the organic solar cell.

Solar cells have some advantages and disadvantages. The advantages of using solar cells include the fact that they: do not pollute the environment; work long hours, without service; lower electricity costs; at the "Green" tariff you can make a profit; does not depend on technological problems of electricity suppliers or on problems with power supply; Solar panels are silent. Disadvantages include: high costs for the installation of solar panels; have low efficiency in winter, in cloudy foggy weather; they depend on the climate of the area and do not generate electricity at night.

Electronics today use silicon-based solar cells, as their efficiency is almost 19% (this figure is the highest among all solar cells. However, solar cells based on carbon compounds are more and more catching up with silicon counterparts.

At the moment, solar cells based on organic compounds have reached an efficiency of 15-20%. However, they are difficult to manufacture, so they have not been widely used. However, it should be noted that these elements have a flexible structure, and they are much cheaper than silicon-based solar cells.

Through the study of organic solar cells, scientists have found that the efficiency of OLED displays can be increased by integrating them into organic solar semiconductors. Solar cells based on organic structures can be used as a stand-alone element as their impact on the environment is minimal.

Organic semiconductors are also often used in electronics. The most popular among them are OLED displays. These displays are widely used in the manufacture of mobile devices. They are very light and have a very flexible structure, if they can be bent in any direction.

Solar energy will be a significant success in the future and will eventually replace large power plants that use comprehensive energy sources such as coal, oil and gas. Solar cells do no harm to the environment. And the research of scientists in this direction brings significant results. The efficiency of solar cells is growing every day.

From this study we can conclude that the use of solar cells based on organic compounds will not only replace non-renewable sources, but also avoid the use of expensive silicon cells. After all, this technology will save on the manufacture of solar cells, as they can be printed on a regular printer. Also an important aspect is that they have a flexible structure, because they are made in thin layers, which allows them to be placed on any surface.